



HAL
open science

La théorie de l'enrichissement cognitif à travers la stimulation physique : des programmes traditionnels aux approches combinées

Alexandra Perrot

► To cite this version:

Alexandra Perrot. La théorie de l'enrichissement cognitif à travers la stimulation physique : des programmes traditionnels aux approches combinées. Sciences cognitives. Université Paris - Saclay, 2021. tel-04456804

HAL Id: tel-04456804

<https://hal.science/tel-04456804>

Submitted on 14 Feb 2024

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

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

Remerciements

Cette Habilitation à Diriger des Recherches est le fruit de collaborations avec des personnes pour lesquelles j'ai la plus haute estime. Je remercie tout d'abord mon laboratoire de recherche, le CIAMS, dirigé par Michel Ange Amorim, de me permettre de travailler librement sur mes thématiques, et ce dans de bonnes conditions. Je remercie l'ensemble de mes collègues pour leur présence, leur soutien, nos nombreux échanges professionnels et personnels, qui sont essentiels à la vie d'un labo et d'une faculté. Je remercie tout particulièrement Christine Le Scanff, avec qui j'ai partagé un temps avec plaisir mon bureau. Tu as su être source de motivation depuis le début de l'écriture et m'as guidée dans la réalisation de ce document. Carole Castanier, ensemble depuis le doctorat, ce fut un plaisir de co-encadrer une thèse avec toi, ta rigueur méthodologique et statistique m'a beaucoup apporté. Manh Cuong Do, directeur du CIAMS à mes débuts, merci pour ta disponibilité, ta simplicité et ta bonne humeur. J'ai apprécié collaborer avec toi, même au prix d'Orsay ! Gilles Bot, Paul Fontayne, Jean Bertsch, merci, car tout a commencé grâce à vous. Je suis également reconnaissante envers tout le personnel administratif de la faculté qui nous simplifie souvent la tâche en nous libérant du temps pour la recherche. Mes pensées vont nécessairement vers les personnes avec qui je collabore au plus prêt. Pauline Maillot, ma première doctorante, aujourd'hui maître de conférences, collègue, collaboratrice privilégiée et amie. Beaucoup de choses ont commencé avec toi et je suis certaine que le meilleur reste à venir. Laure Combourieu et Iréné Lopez Fontana, merci pour votre investissement sans faille dans vos travaux de thèse. Je suis également reconnaissante envers tous les étudiants de master 2 qui ont contribué à faire avancer mes thématiques de recherche.

Je remercie sincèrement toutes mes collaborations extérieures, pour l'enrichissement scientifique qu'elles m'ont apporté. Alan Hartley de la Scripps College Faculty, aux Etats Unis, Louis Bherer, et Sylvie Belleville, de l'Université de Montréal, Anne Sophie Rebillat, de l'Institut Lejeune, le docteur Antony Mezière de l'hôpital Charlefoix, Gilles Kemoun de l'Université de Poitiers et le docteur Frederic Bloch du CHU d'Amiens.

J'exprime ma plus profonde gratitude aux membres du jury, Michel Audiffren, Louis Bherer et Jean Jacques Temprado en tant que rapporteurs et Cedric Albinet et Christine Le Scanff en tant qu'examineurs. Venant de vous, une critique constructive de mon HDR est un honneur.

Pour terminer, je souhaite remercier mes proches, notamment mon mari, mes enfants, ma maman et mes beaux parents pour leur soutien de près ou de loin. Vous savoir à mes côtés pendant la réalisation de ce travail qui reste personnel fut très important. Merci Jacques et Pauline pour la relecture du roman de l'été ! Merci Teym pour ta patience et tout ce que tu as fait au quotidien pour me faciliter ce travail.

A mon papa

Sommaire

Introduction	p. 5
Chapitre I. Impact de l'activité physique sur les déclin cognitifs liés à l'âge	p. 9
I.1 Ancrage théorique général.....	p. 9
I.1.1 De la plasticité cognitive à l'enrichissement cognitif.....	p. 9
I.1.2 Facteurs responsables de l'enrichissement cognitif.....	p. 12
I.1.3 Impact de la pratique régulière de l'activité physique sur le vieillissement cognitif	p. 12
I.2. Contributions expérimentales : Activité physique traditionnelle.....	p. 15
I.3 Contributions expérimentales : Activité physique « enrichie ».....	p. 24
I.3.1 Impact du style de vie général sur le niveau cognitif tout au long de l'âge adulte.....	p. 24
I.3.2 Impact d'un programme d'intervention en activité physique combiné à de l'éducation thérapeutique du patient sur les facteurs de risque de chute de personnes âgées chuteuses	p. 33
I.3.3 Impact d'un programme d'intervention combiné sur le niveau cognitif de personnes MCI.....	p. 35
I.4 Conclusion du chapitre I.....	p. 46
Chapitre II. Impact des jeux vidéo sur le vieillissement cognitif	p. 49
II.1 Les jeux vidéo sédentaires	p. 50
II. 1. 1. Ancrage théorique.....	p. 50
II. 1. 2. Contributions expérimentales.....	p. 51
II.2. Les exergames	p. 56
II. 2. 1. Ancrage théorique.....	p. 56
II. 2. 2. Contributions expérimentales	p. 59
II. 2. 2. 1. Impact de la pratique des exergames sur la cognition des personnes âgées.....	p. 59
II. 2. 2. 2. Impact de la pratique des exergames sur les facteurs de risque de chute des personnes âgées.....	p. 64
II. 2. 2. 3. Impact de la pratique des exergames sur le vieillissement précoce des personnes atteintes de Trisomie 21	p. 70
II. 3. Conclusion Chapitre II.....	p. 73

Chapitre III. Perspectives de recherche	p. 75
III. 1. Approfondissement de l'impact des jeux vidéo.....	p. 75
III. 2. Approfondissement de l'impact des exergames.....	p. 76
III. 2.1 ...en comparaison à des groupes contrôles actifs.....	p. 76
III. 2. 2 ...sur les capacités de transfert.....	p. 80
III.3. A la recherche des indicateurs du « programme idéal ».....	p. 83
III. 3. 1 Intérêt de poursuivre sur les exergames	p. 83
III. 3. 2. Caractéristiques des participants.....	p. 85
III. 3. 3. Caractéristiques générales du programme en exergame.....	p. 87
III. 3.4. Caractéristiques de la stimulation physique	p. 89
III. 3. 5. Caractéristiques de la stimulation cognitive	p. 91
III. 3. 6. Caractéristiques spécifiques aux jeux vidéo.....	p. 93
III. 3. 7. Limites et zones d'ombre.....	p. 97
III. 4. Attaquer le problème à la source... avant que la forêt ne prenne feu.....	p. 102
Conclusion générale	p. 105
Bibliographie	p. 110

Introduction

On ne s'arrête pas parce qu'on vieillit, on vieillit parce qu'on s'arrête

Cette citation n'est pas issue d'un écrivain français, ou d'un chercheur reconnu, mais plutôt d'une publicité pour Seat, parue en 2018.

Deux raisons m'ont incitée à oser un slogan publicitaire :

J'aime les choses qui parlent facilement, qui sont accessibles au plus grand nombre...nous en reparlerons en conclusion

La citation d'origine est « On n'arrête pas de jouer parce qu'on vieillit. On vieillit parce qu'on arrête de jouer » (George Bernard Shaw) et je trouve qu'elle raisonne elle aussi plutôt bien avec mes travaux.

J'ai longtemps hésité sur la façon dont j'allais aborder les choses. Et puis contrairement à l'exercice de la thèse qui peut paraître assez formaté et cadré, j'ai cru percevoir, à la lecture de plusieurs HDR qu'une liberté d'approche était possible. Alors, j'ose. J'ose vous parler de dodo, de koala, de film Disney et de nonnes afin de vous emmener jusqu'aux thématiques de recherche qui m'interpellent et que j'essaie d'explorer depuis maintenant 15 ans.

Je ne suis pas allée de moi-même sur les thématiques du vieillissement. C'est une opportunité de poursuite en doctorat qui s'est offerte à moi, à condition que je réplique mon étude de DEA chez des personnes âgées. J'aurais alors pu laisser de côté la thématique du vieillissement après l'obtention de mon doctorat, d'autant plus qu'une expérience menée par Bargh, Chen et Burrows en 1996 avait montré que le comportement humain pouvait être influencé de manière inconsciente par son exposition à un environnement lexical autour des personnes âgées. En effet, on marche moins vite quand on est en contact avec des mots liés au vieillissement. Et quand on sait que la vitesse de marche est un déterminant de l'espérance de vie (e.g., Studenski, Perera, Patel et al., 2011)...¹ Malgré tout, je suis restée sur les thématiques du vieillissement, et plus précisément sur l'impact de la réserve cognitive sur celui-ci, suite à plusieurs observations

¹ Cette référence est citée ici « pour le bon mot », car en réalité elle est centrée sur la vitesse de marche naturelle des personnes âgées sans situation de priming.

et découvertes, très concrètes, qui parlent au plus grand nombre : les méfaits de la sédentarité² et/ou de l'inactivité physique³ sur les êtres vivants. Tout d'abord, la disparition du dodo serait une conséquence d'un excès d'inactivité physique. Au départ, cet oiseau de l'île Maurice était sans prédateur naturel. N'ayant aucune situation exigeant de lui l'instinct de fuite pour survivre, il perdit la capacité de voler, ses ailes s'atrophiaient et il devint gros, lent et glouton. L'arrivée de l'homme sur l'île n'amena pas seulement la menace de la chasse directe. Les hommes apportèrent avec eux des porcs, des rats, des chiens et d'autres animaux et les dodos, incapables de fuir en raison des modifications anatomiques qu'ils avaient vécues, se convertirent en proies faciles pour ces nouveaux prédateurs. Ce qui arrive au koala relève également des méfaits de la sédentarité et de l'inactivité physique. Au début, le koala se déplaçait pour cueillir différents aliments qui constituaient son régime alimentaire. Puis, il s'est orienté progressivement vers un régime composé uniquement de feuilles d'eucalyptus, qu'il trouve très facilement dans les arbres australiens. Il n'a donc plus vraiment besoin de bouger une fois qu'il est installé dans son arbre. D'autant plus qu'il n'a plus de prédateurs, car son régime alimentaire unique donne un goût repoussant à sa viande. Consécutivement à cette adoption d'un style de vie sédentaire, limitant le moindre mouvement, les scientifiques constatent un rétrécissement de la taille du cerveau du koala, qui lui sert dorénavant principalement à commander la digestion des feuilles d'eucalyptus (Ratey & Manning, 2014).

Ces deux phénomènes qui touchent ou ont touché le monde animal m'amènent vers le film *Wall E* qui me sert de référence lorsque j'enseigne auprès de mes étudiants (Figure 1). Ce film d'animation des studios Pixar, sorti en 2008, raconte l'histoire d'un robot nommé Wall-E conçu pour nettoyer la terre de ses déchets. Un des thèmes principaux du film est l'effet de la surconsommation. Les humains ont dû quitter la Terre pour habiter dans des vaisseaux spatiaux tandis que des robots nettoient la planète. À leur bord, ces humains sont représentés inactifs, pas très intelligents et obèses, servis en nourriture et boisson par des robots, n'effectuant presque aucun mouvement.

Cette vision du futur pointe du doigt les risques vers lesquels tend notre société actuelle qui nous incite à trop de sédentarité, sous prétextes de plus de confort, de sécurité, d'économie ou de gain de temps : drive, GPS, voiture automatique, télétravail, multimédias...La sédentarité, c'est-à-dire le manque de mouvement et de stimulation, l'explosion du temps inactif (assis ou allongé en situation d'éveil) entraîne une amplification des déficits engendrés par l'avancée en

² La sédentarité renvoie à une situation d'éveil pour laquelle la dépense énergétique est inférieure ou égale à celle d'une position au repos.

³ L'inactivité physique se définit par un niveau d'activité physique d'intensité modérée à élevée jugé insuffisant par rapport au seuil de recommandation, fixé en France à 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée au moins 5 fois par semaine.

âge. Herold et ses collaborateurs en 2018 soulignent à ce propos qu'à travers les siècles, le corps humain a su montrer une forte capacité d'adaptation à son environnement. La physiologie humaine était d'abord adaptée à un style de vie très actif, dans l'objectif d'assurer la survie de l'homme, le rendant capable de subvenir à ses besoins, de chasser, de pêcher. Puis, l'industrialisation de la société a amplifié le style de vie sédentaire (e.g., Owen et al., 2010) et engendré une minimisation des dépenses énergétiques et un déclin des systèmes cardiovasculaires, moteurs et cognitifs (Raichlen & Alexander, 2017).



Figure 1 : Extrait du film Wall-E (Pixar, 2008). Représentation des humains inactifs et obèses.

Mes travaux cherchent donc à contrer les méfaits de l'inactivité physique en approfondissant l'impact du style de vie sur les déficits liés à l'avancée en âge, notamment cognitifs. Et c'est ici qu'entre en jeu le dernier thème un peu « décalé » que je vous ai annoncé lors des premières lignes de l'introduction : les nonnes. En effet, plusieurs travaux (Ertens-Lyons et al., 2009 ; Katzman, et al., 1988 ; Roe et al., 2007) dont des travaux longitudinaux menés sur des nonnes (Iacono et al., 2008 ; Riley et al., 2002) ont fait le constat à partir de données autopsiques que des personnes cognitivement préservées au moment de leur décès étaient en réalité à un stade avancé de lésions neuropathologiques caractéristiques de la maladie d'Alzheimer (dégénérescences neurofibrillaires et plaques séniles). Une étude multicentrique rapporte que ce phénomène survient chez plus de 25% des personnes âgées (MRC CFAS, 2001). Ces différents chercheurs semblent s'accorder pour annoncer que ces résultats s'expliqueraient par une réserve cognitive suffisante pour contrer l'expression des symptômes de la maladie. Et cette réserve cognitive serait dépendante en grande partie du style de vie de chaque individu. Plus celui-ci est riche et stimulant, plus la réserve est forte et efficace. En résumé, du fait de différences individuelles dans les capacités de réserve, la « quantité de pathologie » nécessaire à

l'expression initiale des symptômes cliniques et le diagnostic ultérieur de la maladie d'Alzheimer seront différents en fonction des individus. Chez les individus avec plus de réserve cognitive, la quantité de lésions cérébrales nécessaires à l'expression clinique de la maladie sera plus importante, et donc la maladie devrait s'exprimer plus tard. Les capacités de réserve les plus élevées pourraient même diminuer le risque de démence de 46% (e.g., Valenzuela & Sachdev, 2006).

Voilà ici une partie des événements et travaux scientifiques qui m'ont maintenue sur les thématiques du bien vieillir. Se rendre compte chaque jour un peu plus qu'une part des effets de l'âge est « contrôlable » me motive foncièrement à poursuivre sur cette voie. Mes travaux de recherche s'inscrivent donc dans le domaine de la psychologie cognitive et s'intéressent principalement aux déficits cognitifs engendrés par l'avancée en âge ainsi qu'aux modérateurs de ces déficits, à travers notamment l'hypothèse de l'enrichissement cognitif (Hertzog, Kramer, Wilson & Lindenberger, 2008). Cette hypothèse stipule que tous les comportements d'un individu (e.g., participer à des activités cognitives, sociales ou physiques) ont un impact positif significatif sur son fonctionnement cognitif et ce, même à un âge avancé. A ce propos, Boller et Belleville, en 2016, défendent l'idée qu'une forme de résistance cérébrale peut être construite même à un âge avancé, indépendamment du niveau de stimulation cognitive reçue tout au long de la vie. Il serait donc possible de se construire une réserve cognitive tardive, ce qui représente une formidable opportunité pour les personnes qui n'auraient pas eu la chance d'accéder à un style de vie enrichi (e.g., niveau de scolarité, activités intellectuelles ou de loisirs stimulantes). L'hypothèse de l'enrichissement cognitif introduit donc la notion que les individus ont un certain niveau de plasticité cérébrale, un potentiel d'amélioration qui peut être influencé par de nombreux facteurs, et notamment les expériences de vie. Je m'intéresse donc à ces facteurs responsables de l'enrichissement et particulièrement à l'impact de stimulations physiques et/ou cognitives sur le fonctionnement cognitif. Mes travaux peuvent s'organiser en deux parties. La première concerne l'impact de la pratique régulière de l'activité physique sur les déficits liés à l'âge, à travers une approche « traditionnelle » et une approche « enrichie ». La seconde partie s'intéresse à l'impact d'une autre forme de loisir, les jeux vidéo, qu'ils soient sédentaires ou actifs, sur les déficits cognitifs, psychologiques et fonctionnels liés à l'avancée en âge.

Chapitre I. Impact de l'activité physique sur les déclin cognitifs liés à l'âge

I.1 Ancrage théorique général

Le vieillissement demeure un phénomène très hétérogène, à la fois complexe et variable. Les individus héritent de comportements et de prédispositions variés, dont les différences s'amplifient avec les expériences de vie et les multiples interactions avec l'environnement. Vis-à-vis de la cognition, de nombreux travaux tendent à démontrer que l'expression des effets de l'âge reste très différente, que ce soit d'un individu à l'autre (i.e., variabilité interindividuelle), ou d'une catégorie de fonctions cognitives à l'autre (i.e., variabilité intraindividuelle). La littérature sur la variabilité intraindividuelle souligne que l'ensemble des habiletés cognitives n'est pas touché de façon égale au cours du vieillissement. Plusieurs recherches s'accordent à dire que certaines habiletés mentales, comme l'intelligence fluide, déclinent davantage avec l'avancée en âge, en opposition à l'intelligence cristallisée qui a tendance à être préservée en vieillissant (e.g., Angel & Isingrini, 2015 ; Fontaine, 2007). Par ailleurs, la littérature sur la variabilité interindividuelle a mis en évidence que l'évolution du fonctionnement cognitif ne suit pas toujours un pattern similaire selon les individus. En effet, certaines personnes conservent très longtemps un niveau élevé d'efficacité, tandis que d'autres présentent des modifications plus rapides (e.g., Valdois et al., 1990 ; Ylikoski et al., 1999). Ainsi, il est impossible d'ignorer que certaines personnes font preuve d'une vitalité cognitive très performante, malgré un âge avancé, sous-tendant l'existence de facteurs pouvant moduler les effets liés à l'âge. Cette observation amène à se poser la question de l'impact du style de vie et des expériences vécues sur le vieillissement des fonctions cérébrales.

I.1.1 De la plasticité cognitive à l'enrichissement cognitif

L'étude du maintien de la vitalité cognitive au cours du vieillissement se situe à la rencontre de plusieurs concepts (i.e., vieillissement réussi, enrichissement cognitif, plasticité cognitive), et pose la question suivante : les capacités cognitives des personnes âgées peuvent-elles être préservées et/ou améliorées au cours du vieillissement normal ? Et ce, dans le but d'optimiser leur fonctionnalité au cours de la vie quotidienne. Cette notion de fonctionnalité demeure déterminante, notamment au travers du concept de vieillissement réussi qui, selon Rowe et Kahn (1998), dépend de trois conditions interdépendantes, à savoir : i) une probabilité réduite de développer des maladies et les handicaps associés, (ii) un attrait à s'engager dans des activités sociales et/ou constructives (iii) un maintien d'un haut niveau de fonctionnement cognitif et physiologique. Ce concept associé à celui de compression des morbidités met en lumière l'idée que le maintien du bien-être physique et psychologique chez la personne âgée

permettrait de maximiser la durée d'un fonctionnement autonome efficace, et ainsi de minimiser celle où les individus sont fonctionnellement affaiblis en situation de dépendance.

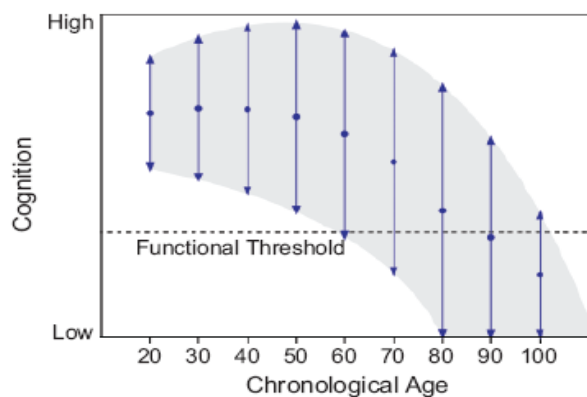


Figure 2. Représentation du potentiel de développement cognitif au cours de la vie pour un individu donné (adaptée de Hertzog et al., 2008).

D'un point de vue sociétal, ce prolongement du seuil de fonctionnalité autonome est un objectif convoité afin de limiter les frais de santé. A l'échelle individuelle, le maintien d'un niveau de fonctionnement cognitif efficace apparaît simplement désirable dans le sens où il est associé à l'amélioration de la qualité de vie.

L'étude des différences dans le développement du vieillissement cognitif a été notamment impulsée par les travaux de Baltes et al. (Baltes, Lindenberger & Staudinger, 2006 ; Baltes & Willis, 1982) qui identifient le principe selon lequel l'âge adulte est associé à un ensemble de gains et de pertes cognitives mais, avec l'avancée en âge, les bénéfiques deviennent moins importants au profit des pertes qui prédominent. Le fonctionnement cognitif possède une marge de développement, issue des influences biologique, comportementale et environnementale de chacun. Cette malléabilité correspond au concept de plasticité cognitive. La plasticité est un processus adaptatif et dynamique, contraint par les limites biologiques et environnementales. De nombreux travaux empiriques ont mis en évidence cette capacité du cerveau à réorganiser les réseaux de neurones en fonction des stimuli et des expériences vécues, et ce, malgré un âge avancé (Baltes & Willis, 1982 ; Gheysens et al., 2018 ; Schaie & Willis, 1986). L'observation de cette plasticité, telle une capacité d'adaptation et de modification, se situe à la fois au niveau des changements du comportement (i.e., plasticité comportementale) et du système nerveux central (i.e., plasticité cérébrale ou neuronale). Elle apparaît sous l'influence de différentes contraintes à la fois internes (i.e., développement, maturation, vieillissement, lésions), et externes (i.e., entraînement, enrichissement, substances pharmacologiques). La plasticité renvoie à un potentiel latent d'apprentissage, c'est-à-dire à la capacité à bénéficier d'un entraînement. Cette

plasticité est donc en lien direct avec la notion d'enrichissement cognitif, de par une interdépendance de ces deux concepts. En effet, la trajectoire de vie d'un individu est étroitement liée à ses expériences et à ses choix, et ces choix et expériences ont des conséquences sur les fonctions cognitives et les structures qui les sous-tendent.

Le concept de l'enrichissement cognitif suggère que l'ensemble des comportements et conduites adoptés par l'individu au cours de son parcours de vie (e.g., activités cognitives, engagement social, exercice physique) aurait un impact positif sur le niveau d'efficacité cognitive en avançant en âge (Hertzog et al., 2008). Il s'illustre principalement au travers de quatre profils développementaux du vieillissement cognitif (A, B, C et D sur la Figure 3).

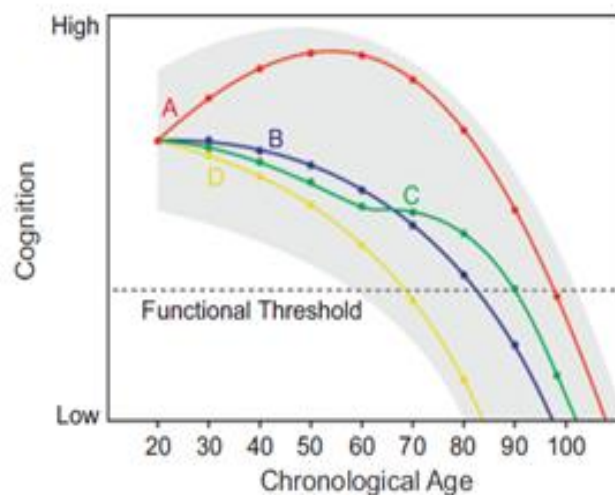


Figure 3 : Représentation du potentiel de développement cognitif pour un individu donné selon quatre trajectoires de développement possible (A, B, C, D), issue de Hertzog et al., 2008.

Le premier profil de développement (A) reflète l'optimisation du fonctionnement cognitif par des performances maximales, situées à la frontière optimale du potentiel de développement de l'individu. Par analogie au monde sportif, cette trajectoire développementale correspondrait au régime comportemental suivi par un champion olympique visant les sommets de la performance. Le second type de profil correspond à une trajectoire de vie aux comportements mal adaptés (D), menant à une atrophie de la cognition associée à l'apparition de déclin de façon rapide et précipitée au cours de la vie. En opposition au profil précédent, il correspond à un style de vie non-optimal. Le troisième profil (B) symbolise les déclin graduels, continus et bénins du fonctionnement cognitif au cours du vieillissement normal. Enfin, le dernier profil (C) reflète l'effet d'un enrichissement cognitif, lorsqu'un individu s'engage dans des comportements

enrichis qui sont d'une qualité et d'un degré non présents auparavant. Ce profil souligne que, même à un âge avancé, l'amélioration du fonctionnement cognitif est possible. L'impact significatif de variables modératrices sur le niveau de fonctionnement cognitif permettrait ainsi à terme d'influencer la trajectoire de développement.

I.1.2 Facteurs responsables de l'enrichissement cognitif

Le concept de l'enrichissement cognitif défend l'idée que les trajectoires liées au développement cognitif au cours de la vie ne sont pas nécessairement fixes et stables, mais peuvent être influencées et formées par des événements et des comportements. De nombreux travaux se sont intéressés à l'impact de certains facteurs en tant que modérateurs des effets de l'âge (e.g., Hultsch et al., 1999 ; Kramer et al., 2004). Ces études se sont particulièrement penchées sur l'effet des expériences et du style de vie sur le déclin cognitif, au travers du niveau d'éducation, des types d'activités de stimulations cognitives soutenues, ou encore du métier exercé. Un haut niveau de formation, un emploi avec sollicitations complexes, et/ou la pratique d'une large variété de loisirs stimulants seraient fortement associés à un niveau cognitif performant, et à long terme, ils permettraient de favoriser un meilleur maintien de la vitalité cognitive (Hultsch et al., 1999). Ainsi, les caractéristiques personnelles d'un individu à travers ces expériences et ces trajectoires de vie modulent fortement les déclin cognitifs en vieillissant. L'intérêt actuel des recherches sur les modérateurs du vieillissement cognitif s'oriente davantage vers d'autres natures de facteurs explicatifs, notamment la stimulation physique. En effet, la lutte contre l'inactivité physique reste un combat de santé publique, particulièrement chez les seniors (Paterson, Jones & Rice, 2007). 25% de la prévalence de l'inactivité pourrait prévenir l'apparition d'un million de cas de démence type Alzheimer dans le monde (Barnes & Yaffe, 2011). De nombreux travaux (pour revue, Colcombe & Kramer, 2003 ; Maillot, Perrot & Hartley, 2012a) ont démontré que la stimulation physique permettait d'engendrer un enrichissement cognitif chez les personnes âgées.

I.1.3 Impact de la pratique régulière de l'activité physique sur le vieillissement cognitif

Les bienfaits de l'activité physique sur la santé sont aujourd'hui très largement reconnus, et depuis un demi-siècle, ont fait l'objet de nombreuses investigations. Yau et ses collaborateurs, en 2016 annoncent que l'exercice physique émerge aujourd'hui comme l'une des stratégies les plus efficaces, accessibles et simples pour un vieillissement en santé et comme un traitement préventif pour les déclin cognitifs associés aux maladies neurodégénératives. Les recherches sur le vieillissement cognitif se sont intensifiées, au point de se séparer en deux objets d'étude qu'il convient de clairement distinguer : les effets aigus versus les effets chroniques de l'activité

physique. Les effets aigus désignent les effets immédiats (à court terme) d'une période unique d'activité physique de courte durée (i.e., de quelques secondes à quelques heures). Il s'agit de l'étude des effets transitoires de l'activité physique au travers de l'activité électrochimique des réseaux neuronaux (Dietrich & Audiffren, 2011). Les effets chroniques, quant à eux, correspondent aux effets à long terme de la pratique physique (i.e., allant de quelques semaines à plusieurs années) modifiant de façon durable la plasticité cognitive. Vis-à-vis de mes contributions expérimentales, seuls les effets chroniques de l'exercice physique sur la santé cognitive des seniors ont été abordés.

La relation entre l'activité physique et la cognition a été empiriquement examinée à travers divers designs expérimentaux : l'approche longitudinale (e.g., Barnes et al., 2003 ; Yaffes et al., 2001), l'approche transversale (e.g., Clarkson-Smith & Hartley, 1989 ; Perrot, Gagnon & Bertsch, 2009), et l'approche interventionnelle (e.g., Dustman et al., 1984 ; Kramer et al., 1999 ; Rikli & Edwards, 1991). L'ensemble de ces travaux s'accorde en démontrant une relation positive entre la pratique régulière d'activité physique et le vieillissement cognitif. Les résultats de diverses méta-analyses renforcent ces conclusions en reportant d'importantes tailles d'effets (« Effect Size », ES), attestant ainsi de larges bénéfices de l'activité physique sur tout un ensemble de catégories de processus cognitifs chez des sujets âgés : ES = 0.48 (Colcombe & Kramer, 2003) et ES = 0.10 à 1.17 (Angevaren et al., 2008). L'impact positif de l'activité physique a également été abordé au travers des neurosciences permettant de mettre en évidence les phénomènes et mécanismes responsables de ces améliorations (e.g., Colcombe et al., 2004 ; Erickson & Kramer, 2009). En effet, les études animales suggèrent qu'un exercice prolongé aurait des modifications significatives à long terme sur la plasticité comportementale et cérébrale (Audiffren, André & Albinet, 2011). Au regard de l'ensemble de ces travaux, il apparaît assez clairement que la participation régulière à des programmes en activité physique engendre des bénéfices non négligeables au niveau des performances cognitives des seniors. Même si la littérature semble mettre en évidence un lien positif général entre l'activité physique et la cognition, il demeure pertinent de s'intéresser aux effets spécifiques de l'activité physique, selon la nature d'activités physiques et/ou les fonctions cognitives ciblées par la pratique.

Ces dernières années, certains travaux ont mis en évidence que l'amélioration de la santé cardiorespiratoire, suite à un programme d'intervention composé d'exercices aérobies sur plusieurs mois, permettait l'amélioration de performances cognitives (Dustman et al., 1984 ; Kramer et al., 1999 ; Rikli & Edwards, 1991), et ce, plus particulièrement sur les processus dits exécutifs (Kramer et al., 1999). En effet, Rikli et Edwards (1991) ont entraîné pendant 3 ans des femmes de 57 à 83 ans à la marche rapide et à la danse aérobique. Ils ont comparé les performances des participantes entraînées avec celles d'un groupe contrôle qui participait à

aucun entraînement. Les résultats mettent en évidence que seuls les scores cognitifs des participantes entraînées se sont améliorés. Les auteurs suggèrent que ces améliorations observées sur des tests de vitesse seraient liées à l'amélioration de la condition physique, qui cependant, ici, n'était pas évaluée. Par la suite, les travaux de Kramer et al. (1999) ont montré que l'effet de l'activité physique aérobie était davantage marqué sur les fonctions exécutives. Les auteurs ont ainsi comparé les performances sur plusieurs tâches cognitives (i.e., vitesse de traitement de l'information, fonctions exécutives, mémoire de travail, mémoire verbale, attention spatiale) suite à un programme d'entraînement de 6 mois soit en condition aérobie (i.e., marche), soit non-aérobie (i.e., étirements). Cette étude souligne que les sujets assignés au groupe aérobie améliorent leurs performances à plusieurs de ces tâches cognitives, et notamment au niveau des composantes exécutives (i.e., tâche de comptabilité de réponse, tâche de transfert attentionnel et tâche d'inhibition). Enfin, les travaux de Dustman et collaborateurs (1984) proposent une comparaison entre deux types de programmes d'entraînement, aérobie versus force/souplesse, et un groupe contrôle. Les auteurs ont démontré que seul le groupe aérobie avait nettement amélioré son VO_2 max, et que cette amélioration de la santé cardiorespiratoire était directement liée à des améliorations cognitives significatives. L'interprétation physiologique, appelée hypothèse métabolique, stipule que l'amélioration significative de l'aptitude physique aérobie, mesurée par VO_2 max, engendrerait une augmentation du flux sanguin cérébral et permettrait ainsi une meilleure oxygénation du système nerveux central (Dustman, Emmerson & Shearer, 1994). Cette hypothèse s'appuie sur la mise en évidence d'une corrélation entre les performances cognitives et la capacité aérobie des sujets (Dustman et al., 1984 ; Kramer et al., 1999). L'exercice chronique maintiendrait l'intégrité cérébrovasculaire en réduisant les risques d'hypoxie du cerveau. L'amélioration de la santé cardiorespiratoire serait donc un potentiel médiateur physiologique responsable de l'amélioration des performances cognitives. Cette hypothèse est à mettre directement en lien avec celle du contrôle exécutif. En effet, de nombreux travaux ont démontré que le contrôle exécutif était fortement sensible à l'avancée en âge (Marquié & Isingrini, 2001). Les fonctions exécutives se réfèrent à une variété d'activités cognitives telles que l'adaptation à la nouveauté, la planification et la mise en œuvre de stratégies nouvelles, le contrôle et la régulation de l'action, la capacité à tenir compte de l'information en retour pour ajuster et adapter la réponse, et la capacité d'inhibition des informations non pertinentes à la tâche (Rabbitt, 1997). Elles correspondent donc aux processus cognitifs qui contrôlent, régulent, et intègrent les autres activités cognitives. Toutes ces habiletés sont supportées en large partie par les régions frontales et préfrontales du cerveau. Ces régions sont particulièrement vulnérables au déficit de flux sanguin avec l'avancée en âge (Raz, 2000 ; West, 1996). Parallèlement, de nombreux auteurs

s'accordent pour dire que l'effet de l'activité physique serait particulièrement important voire spécifique aux fonctions cognitives dépendantes des aires frontales.

Si le niveau d'aptitude physique aérobie semble être un facteur important dans la relation entre activité physique et fonctionnement cognitif, il n'est pas le seul mécanisme à pouvoir rendre compte des effets de l'activité physique sur le vieillissement cognitif (Colcombe & Kramer, 2003 ; Etnier et al., 2006). Dans ce sens, la méta-analyse de Colcombe et Kramer (2003) a mis en évidence que des participants âgés engagés dans un entraînement combinant les capacités aérobies, la force et la souplesse, amélioreraient davantage leurs performances lors de tests mesurant la cognition que des participants engagés uniquement dans un entraînement de type aérobie. Ces précédents travaux sous-tendent donc l'existence de mécanismes neurophysiologiques autres que l'hypothèse métabolique (préalablement décrite), sous-jacents à l'amélioration des performances cognitives. Erickson, Hillman et Kramer (2015) confirment qu'un seul mécanisme physiologique ne peut pas rendre compte à lui tout seul des effets de l'activité physique sur le cerveau et la cognition tant ses effets sont larges et variés. En 2019, Bherer et ses collaborateurs vont également en ce sens en démontrant que la $VO_2\text{max}$ permet d'expliquer l'ensemble des améliorations cognitives des plus de 70 ans, mais que ce n'est pas applicable pour les moins de 70 ans. Il semblerait en effet qu'entre ces deux groupes d'âge, l'activité physique n'engendre pas des effets similaires⁴, pas même avec des mécanismes identiques. Plusieurs travaux mettent en avant que l'activité physique régulière d'intensité modérée à élevée aurait également un effet neuro-protecteur et faciliterait la neurogénèse et la synaptogénèse en augmentant la production de facteurs neurotrophiques dérivés du cerveau (BDNF), de facteurs de croissance des nerfs (NGF), de facteurs de croissance apparentés à l'insuline (IGF-1) et de facteurs de croissance endothéliale vasculaire (VEGF) (e.g., Audiffren et al., 2011). Il est cependant important de préciser que la plupart de ces avancées scientifiques ont été constatées principalement chez l'animal (e.g., Neeper et al., 1995 ; Vaynman, Ying & Gomez-Pinilla, 2004), et plus rarement chez l'homme (e.g., Huang et al., 2014 ; Knaepen et al., 2010 ; Vaughan et al., 2014).

I.2. Contributions expérimentales : activité physique traditionnelle

Une première partie de mes contributions expérimentales s'est centrée sur la relation entre le niveau naturel d'activité physique pratiquée et les fonctions cognitives, et plus précisément les fonctions exécutives. Il s'agit ici d'une approche que je qualifierais « de spontanée » dans le sens où il n'y a aucune manipulation de l'environnement et du niveau de pratique des individus, à l'inverse des programmes d'intervention qui « injectent » une dose d'activité physique pendant

⁴ Améliorations sur la vitesse de traitement pour les plus âgés et améliorations exécutives pour les plus jeunes

une période donnée. Cette première partie est appelée activité physique traditionnelle en opposition à la seconde partie qui présentera une approche plus enrichie de l'activité physique, à travers la prise en compte de variables complémentaires ou de programmes combinés.

Une partie de mes travaux sur les effets cognitifs de la pratique de l'activité physique s'inscrit dans une approche transversale, en comparant les performances exécutives de personnes âgées physiquement actives, à des personnes âgées davantage sédentaires. Ma première contribution a cherché à mieux comprendre l'impact de la pratique d'une activité physique régulière sur le niveau de raisonnement inductif, et ce, en fonction de l'âge des individus. 31 participants jeunes (20-30 ans) et 33 participants âgés (60-75 ans) ont alors été évalués à la fois sur leur niveau de raisonnement inductif (au travers de trois tests psychométriques : *Letter set* et *Figure classification* ; Ackerman, 1990, et *Raven Advanced Progressive Matrices II*, Raven, Courts & Raven, 1977) et sur le niveau de pratique physique via le « Modifiable Activity Questionnaire » (MAQ) (Kriska et al., 1990). Ce questionnaire mesure l'activité physique récente (i.e., pratiquée au cours des 12 derniers mois), en renseignant sur le type, l'intensité, la fréquence et la durée de chaque activité physique. Un indicateur de dépense énergétique a également été calculé en multipliant le nombre d'heures par semaine de chaque activité physique à son coût métabolique estimé en fonction de la classification des intensités d'activité physique (Ainsworth et al., 1993). Cet indicateur de dépenses énergétiques a été exprimé en Tâche Equivalente Métabolique (« Metabolic Equivalent Task » ou « MET »). Des ANOVAs (jeunes vs âgés) x (actifs vs inactifs) ainsi que des post-hoc ont été menés sur chaque test de raisonnement inductif et révèlent que cette fonction cognitive est sensible à la pratique physique des participants les plus âgés (Figure 4).

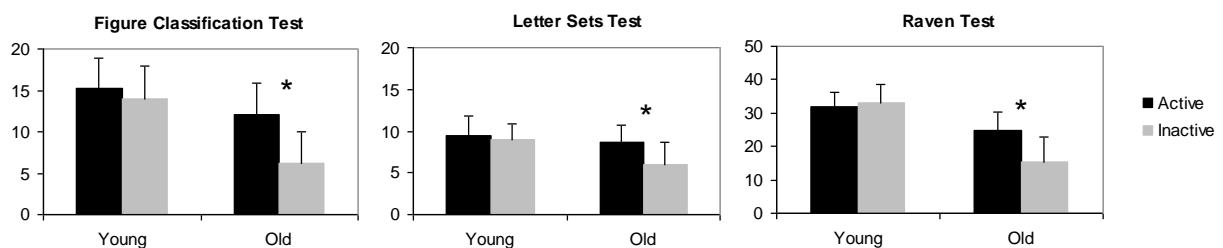


Figure 4 : Résultats des ANOVAs 2x2 sur les 3 tests de raisonnement inductif (* $p < .05$)

En effet, les âgés actifs se montrent significativement plus performants que les âgés inactifs sur les trois tests psychométriques. De plus, les âgés actifs rivalisent avec les plus jeunes (qu'ils soient actifs ou non) sur le test de classification de figure et le letter sets. La pratique régulière

d'une activité physique (ici, au-delà de 4h par semaine) permettrait donc de contrer les effets de l'âge sur le raisonnement inductif, jusqu'à le maintenir au niveau des plus jeunes. Ces résultats confirment les conclusions issues de plusieurs travaux interventionnels sur les fonctions exécutives (Colcombe & Kramer, 2003 ; Kramer et al., 1999) tout en apportant deux précisions sur l'impact de l'activité physique. Tout d'abord, elle élargit la connaissance des effets de l'âge sur les fonctions exécutives au raisonnement inductif. En effet, cette fonction cognitive n'est pas toujours testée lorsqu'on s'intéresse aux fonctions exécutives, alors qu'elle a été reconnue comme une fonction exécutive supérieure (e.g., Blaskewicz Boron, Turiano, Willis & Schaie, 2007), très sollicitée dans les activités du quotidien (e.g., Allaire & Marsiske, 1999), et sensible aux effets de l'âge (e.g., Blaskewicz Boron et al., 2007). Ensuite, les résultats obtenus par les deux groupes de jeunes apportent des informations complémentaires sur la relation entre activité physique et fonction exécutive. Etant donné qu'aucune différence n'est constatée entre les jeunes actifs et les jeunes inactifs, la relation positive entre niveau d'activité physique et raisonnement inductif n'apparaît qu'après un âge avancé. Cela confirme les résultats d'Etnier et Landers (1998) et suggère un effet modérateur de l'activité physique sur les déclin cognitifs engendrés par l'avancée en âge (d'après le modèle ci dessous de Stones & Kozma, 1988).

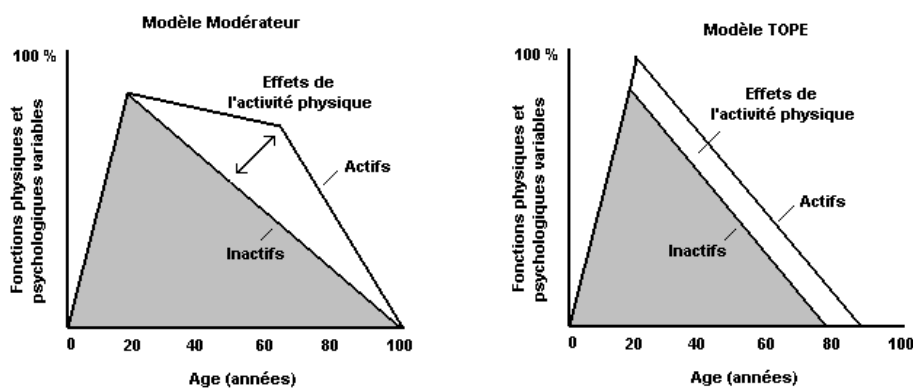


Figure 5. Modèles théoriques rendant compte des effets de l'activité physique sur les fonctions physiques et psychologiques (d'après Stones & Kozma, 1988).

En effet, les données récoltées ici incitent à mettre de côté le modèle TOPE, (i.e. « *Tonic and OverPractice Effect model* », Figure 5, droite) supporté par plusieurs recherches (pour revue, Kozma, Stones & Hannah, 1991). Ce modèle théorique annonce que l'activité physique optimiserait les fonctions à tous les âges et par conséquent empêcherait un vieillissement cognitif prématuré. Basé sur un premier effet qualifié de tonique, le modèle prédit que les individus physiquement actifs seraient, quel que soit leur âge, supérieurs à leurs homologues

sédentaires sur une variété de comportements, notamment ceux engendrant la vitesse de traitement de l'information. L'impact de l'activité physique ne serait donc pas proportionnel à la profondeur des déclinés engendrés par le vieillissement et interviendrait de façon générale et additive, indépendamment de l'âge des sujets. Cependant, plusieurs études laissent présager que le modèle TOPE serait spécifique aux fonctions évaluées et davantage constaté au niveau des capacités psychomotrices (e.g., Hillman, Weiss, Hagberg & Hatfield, 2002 ; Spirduso et al., 1988).

Nos données nous orientent davantage vers le modèle modérateur (Figure 5, gauche, Stones & Kozma, 1988), qui suggère que l'activité physique joue un rôle de plus en plus important avec l'avancée en âge, en ralentissant les symptômes du vieillissement. Les effets de l'activité physique seraient proportionnels (jusqu'à un certain point) à l'âge des sujets et par conséquent à l'étendue des déclinés qui s'opèrent en avançant dans la vie. L'activité physique permettrait de limiter les impacts naturels du vieillissement sur le fonctionnement cognitif des individus. Ce modèle qui stipule donc que les bénéfices d'un style de vie actif devraient être plus évidents chez les sujets âgés que chez les plus jeunes, est supporté par plusieurs travaux ou meta-analyses (Boucard et al., 2012 ; Bunce, 2001 ; Bunce, Barrowclough & Morris, 1996 ; Colcombe & Kramer, 2003 ; Etnier et al., 1997 ; Hillman et al., 2006 ; Newson & Kemps, 2006 ; Renaud, Bherer & Maquestiaux, 2010 ; Shay & Roth, 1992 ; Spirduso & Clifford, 1978) mais, à notre connaissance, aucun n'avait été mené sur le raisonnement inductif.

Une récente étude interventionnelle menée par une étudiante en première année de master APA-S, d'envergure modeste du fait de la situation sanitaire, s'est également intéressée à la sensibilité des fonctions exécutives face à une activité physique particulière, à travers un programme centré sur les sports d'opposition et de coopération (Beraud-Peigné, Maillot & Perrot, 2021), alors que les programmes d'interventions proposent davantage des activités physiques plutôt individuelles (e.g., marche, vélo). Plusieurs travaux soulignent la pertinence de ce genre de pratique collective sur le fonctionnement cognitif (e.g., Audiffren et al., 2011, Elferink-Gemser et al., 2018 ; Vestberg et al., 2012 ; Voelcker-Rehage, Godde & Staudinger, 2011 ; Voelcker-Rehage & Niemann, 2013 ; Wang et al., 2015), notamment de par les propriétés intrinsèques de ce type d'activité physique stimulant fortement la variabilité, l'interaction, l'adaptation, la coordination et naturellement les fonctions perceptives et cognitives, notamment les fonctions exécutives (e.g., planification, inhibition, mise à jour de la mémoire de travail). Un petit groupe de participants (i.e., 6 femmes, 1 homme) a réalisé une batterie de tests des fonctions exécutives et des capacités fonctionnelles avant et après avoir suivi un programme de jeux collectifs de coopération et d'opposition, à raison de 2 séances d'une heure par semaine sur 12 semaines. Leurs progrès ont été comparés (à partir de statistiques non paramétriques) à un groupe contrôle passif (7 femmes et 1 homme), et se sont montrés significativement supérieurs

à ce groupe, au niveau de la planification, de la mémoire visuospatiale et de l'équilibre dynamique. La coopération et l'opposition semblent donc être des leviers intéressants à inclure dans un programme de stimulation physique, mais le faible échantillon ainsi que l'absence de groupe contrôle actif, suivant un programme d'activité physique plus classique (e.g., marche, course, vélo) limite la portée de ces résultats.

Une troisième contribution expérimentale, issue d'une partie du travail de thèse d'Iréné Lopez, a consisté à étudier la relation entre l'activité physique spontanée et la cognition tout au long de la vie adulte, et non seulement à un âge avancé (e.g., Andel, Silverstein & Kareholt, 2014 ; Gow, Pattie & Deary, 2017 ; Prakash, Voss, Erickson & Kramer, 2015). En effet, si le vieillissement cognitif a longtemps été exclusivement étudié au sein de populations âgées (i.e. plus de 60 ans voire 65 ans), de plus en plus d'études mettent en évidence que certaines fonctions commencent à décliner dès l'âge de 20 ans et qu'il est nécessaire d'étudier ce processus dans sa totalité pour en saisir toute la complexité (Anguera et al., 2013 ; Li et al., 2004 ; Salthouse, 2009). Pour ces raisons, cette contribution expérimentale, qui reprend à nouveau un design transversal a appréhendé le vieillissement cognitif à travers une approche « life span » afin de favoriser la compréhension de son évolution tout au long de la vie, en vue de trouver des solutions préventives adaptées face au déclin cognitif lié à l'âge. De plus, le niveau d'activité physique a été appréhendé à travers la pratique récente et à long terme. Cette approche permet d'aborder des questions encore sans réponses claires à l'heure actuelle, telles que : Le niveau cognitif actuel est-il fortement influencé par l'activité physique récente ? Ou la pratique d'une activité physique sur du long terme (i.e., pratiquée depuis plusieurs décennies) est-elle nécessaire pour préserver efficacement la cognition, et ce même à un âge avancé ? 135 participants âgés de 18 à 80 ans (M = 48.79, ET = 17.92, 50.4% de femmes), non dépressifs, avec un MMSE >26 pour les plus de 50 ans ont passé deux questionnaires d'activité physique validés : Le « *Modifiable Activity Questionnaire* » (MAQ) (Kriska et al., 1990, présenté dans l'étude précédente), qui mesure l'activité physique récente (i.e., pratiquée au cours des 12 derniers mois), et le « *Historical Leisure Activity Questionnaire* » (HLAQ) (Kriska et al., 1988) qui évalue la pratique physique sur le long terme (i.e., pratiquée depuis l'âge de 12 ans). Ces deux outils mesurent le type, l'intensité, la fréquence et la durée de chaque activité physique. L'indicateur de dépense énergétique (MET) a également été calculé. L'ensemble des participants a ensuite été évalué sur son niveau exécutif, à travers plusieurs tests de vitesse de traitement de l'information, d'inhibition, de flexibilité mentale, de capacité associative, d'attention sélective, de vitesse de comparaison perceptive, de mémoire de travail, et de raisonnement abstrait non verbal (e.g., Arbuthnott & Frank, 2000 ; Dugbartey et al., 1999 ; Kortte, Horner & Windham, 2002 ; Pachana, Thompson, Marcopulos & Yoash-Gantz, 2004 ; Salthouse, 1992, 1993 ; Salthouse, Atkinson & Berish, 2003). Un score global basé sur les résultats aux différents tests exécutifs a ensuite été calculé (score z).

Les premiers résultats nous confirment tout d'abord que l'âge est négativement lié à la cognition ($\beta = -.596, p < .001$). Un déclin progressif et significatif des fonctions exécutives est observé, et ce, dès le début de l'âge adulte (voir Figure 6).

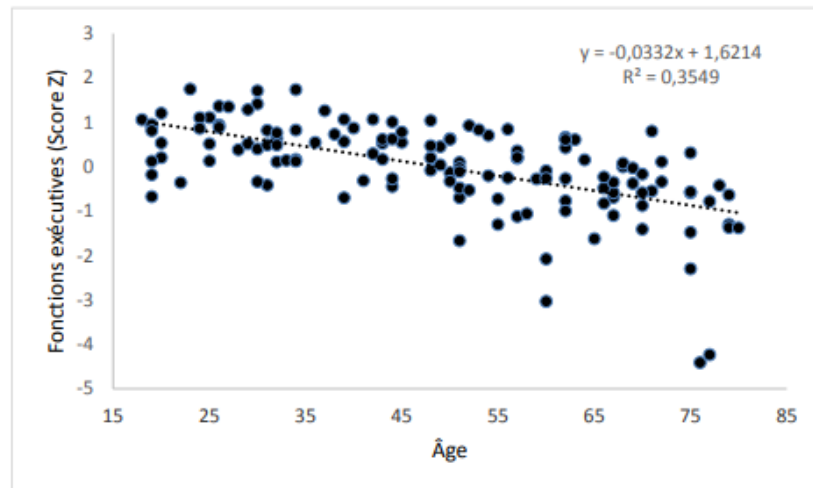


Figure 6 : Relation basique entre âge et fonctions exécutives

Concernant l'impact de l'activité physique sur cette relation âge-cognition, l'introduction de la variable « activité physique récente » ou « activité physique à long terme » dans le modèle de base âge-cognition n'entraîne pas d'augmentation significative de la variance expliquée de la cognition, ni lors de l'analyse des effets simples ou des effets d'interaction « âge x activité physique ». Une analyse plus poussée, introduisant la variable modératrice « sexe » est alors nécessaire afin de mieux comprendre la relation entre activité physique et déclin cognitif. La prise en compte de cette variable reste assez rare dans les travaux sur la relation entre activité physique et vieillissement cognitif (e.g., Fagot et al., 2017 ; Lee, 2005 ;). Soit les effets de l'activité physique sont étudiés en séparant les femmes des hommes (e.g., Yaffe et al., 2001) ou la variable sexe est contrôlée (e.g., Bielak et al., 2014). L'analyse du modèle de modulation avec, en 1ère variable modératrice, l'activité physique récente et, en 2ème variable modératrice la variable sexe ne présente aucun résultat significatif. Cependant, l'analyse du modèle de modulation avec, en 1ère variable modératrice, l'activité physique à long terme et, en 2ème variable modératrice, la variable sexe suggère un effet modérateur significatif de l'activité physique à long terme dans la relation âge-cognition uniquement chez les femmes (Figure 7). Cet effet est maintenu malgré l'ajout du niveau socio-cognitif⁵ en variable contrôle.

⁵ Le niveau socioculturel (NSC) a été calculé afin de considérer la stimulation cognitive professionnelle, en plus des années d'études (e.g., Kalafat, Hugonot-Diener, & Poitrenaud, 2003). Cet indice peut avoir une influence significative sur le niveau cognitif.

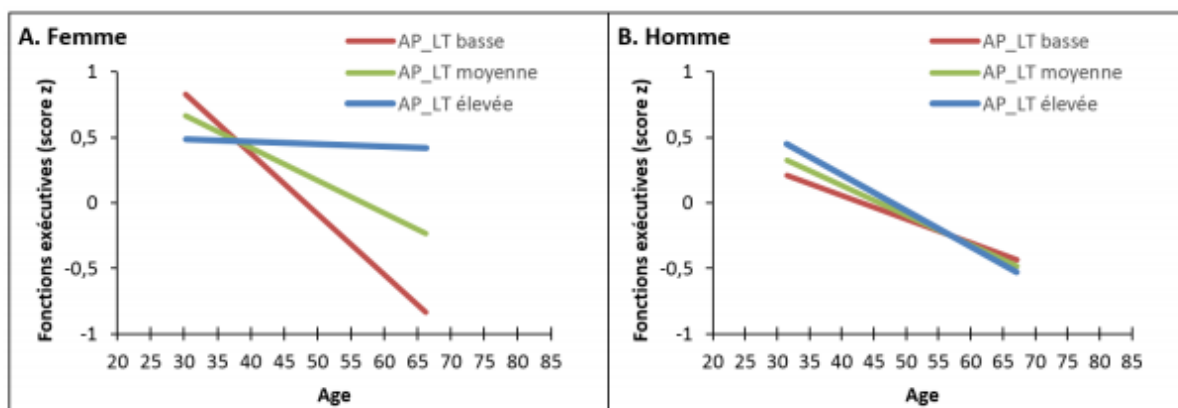


Figure 7 : Interaction entre l'âge et l'activité physique passée à long terme (AP_LT) sur le score composite des fonctions cognitives chez les femmes (gauche) et les hommes (droite)

Dans cette étude, les résultats sur l'activité physique récente ne nous permettent pas d'affirmer que cette dernière soit efficace pour préserver la cognition, quel que soit le sexe. Ce manque de résultat est contraire aux conclusions obtenues par de nombreuses recherches antérieures (e.g., Bherer, Erickson & Liu-Ambrose, 2013, Nagamatsu et al., 2014), et il est d'autant plus surprenant qu'il porte sur les fonctions exécutives, domaine cognitif connu pour être particulièrement sensible aux effets de l'activité physique (pour revues : Bherer, 2015 ; Hötting & Röder, 2013). Cependant, contrairement à notre étude, une large majorité des travaux annonçant des bienfaits cognitifs relève d'un design interventionnel (e.g., Smiley-Oyen, Lowry, Francois, Kohut & Ekkekakis, 2008 ; Voelcker-Rehage, Godde & Staudinger, 2011). Ce constat est également mis en lumière au sein de la méta-analyse de Colcombe et Kramer (2003) qui stipule que les programmes d'intervention d'activités physiques aérobies d'au moins 6 mois engendreraient une amélioration significative de la cognition, et notamment des fonctions exécutives. Une des principales limites liées aux études interventionnelles est le fait d'injecter de façon non naturelle une dose d'activité physique. En effet, il est peu probable que les individus choisissent de pratiquer une telle quantité et intensité d'activité physique aérobie et la maintiennent sur une longue période, d'autant plus que l'activité physique a tendance à diminuer avec l'avancée en âge (Jopp & Hertzog, 2010 ; Södergren, 2013). Dans notre étude, le questionnement portait sur l'activité physique pratiquée dans un contexte spontané au cours des 12 derniers mois. L'absence de résultats à court terme incite à s'interroger sur le temps nécessaire de pratique naturelle de l'activité physique pour engendrer des effets sur le vieillissement cognitif. Ces résultats ainsi que les conclusions ambiguës observées dans certaines études sur l'impact de l'activité physique à court terme sur la cognition (pour revue, Churchill et al., 2002) semblent souligner que l'observation de l'activité physique sur une période supérieure

à un an favoriserait considérablement la compréhension des effets de l'activité physique sur la cognition (Gearin & Fien, 2016 ; Kelly et al., 2014). Nos résultats sur l'activité physique à long terme vont dans le sens de travaux antérieurs qui suggèrent que les effets de l'activité physique pourraient nécessiter plusieurs années pour impacter le cerveau (Beason-Held, Moghekar, Zonderman, Kraut & Resnick, 2007 ; Churchill et al., 2002 ; Rovio et al., 2005). Boucard et ses collaborateurs (2012) annoncent également que la pratique physique à long terme est plus propice aux améliorations cardiovasculaires et cognitives que les courtes périodes de pratique. Cependant, les bienfaits ne sont observés que chez les femmes. Ce constat fait écho à plusieurs travaux antérieurs. En 2001, Laurin et ses collaborateurs ont constaté un risque significativement plus faible de perte cognitive associée à la pratique d'une activité physique régulière intensive chez les femmes, mais pas chez les hommes. En 2007, Sumic et ses collaborateurs observent un effet protecteur de l'activité physique régulière à long terme sur la cognition et notamment sur la démence uniquement chez les femmes. En 2011, l'étude de Kareholt et collaborateurs souligne que seules les femmes démontrent un lien significatif entre la fréquence de pratique d'une activité physique et la cognition générale mesurée 21 à 24 ans plus tard. Deux meta-analyses (i.e., Barha et al., 2017a ; Colcombe & Kramer, 2003) ont également démontré que la cognition des femmes bénéficiait davantage de l'activité physique que celle des hommes.

Plusieurs explications, d'ordre biologique, social ou psychologique sont alors possibles pour tenter de comprendre ce résultat⁶. D'un point de vue biologique, une étude en 2010 annonce que six mois d'activité aérobie de haute intensité présente des effets physiologiques et cognitifs différents selon le sexe (Baker et al., 2010). Des divergences biologiques entre les sexes dans les réponses physiologiques liées à l'exercice pourraient expliquer ces différences (e.g., Barha et al., 2017a, Berchtold et al., 2001 ; Venezia, Guth, Sapp, Spangenburg & Roth, 2016). Notamment, les effets de l'activité physique sur la sécrétion de BDNF seraient sensibles au taux d'œstrogène et aux thérapies hormonales des femmes ménopausées (Audiffren et al., 2011 ; Colcombe & Kramer, 2003 ; Erickson et al., 2007). L'environnement hormonal pendant le développement et les années de reproduction pourrait avoir également une influence durable sur la structure et la fonction cérébrale (Arnold, 2009, de Vries & Forger, 2015). Ainsi, à un âge plus avancé, l'exercice agirait sur des cerveaux féminins et masculins présentant des différences, à savoir i) des différences de volume de matière grise en fonction des régions, ii) un flot sanguin plus élevé chez les femmes, iii) un volume cérébral plus important chez les hommes (pour revue, voir Gur & Gur, 2017). Basé sur l'observation que les femmes âgées saines montrent généralement de

⁶ Les performances cognitives entre les hommes et les femmes de notre étude ne présentaient aucune différence significative. Ainsi, ce ne sont pas des différences de performances cognitives entre les hommes et les femmes que nous cherchons à expliquer ici, mais bien des divergences en fonction du sexe quant aux bénéfices potentiels de la pratique d'une activité physique sur le vieillissement cognitif

meilleures fonctions exécutives que les hommes (McCarrey et al., 2016), Barha et ses collaborateurs (2017a) défendent également l'hypothèse que le circuit neuronal qui sous-tend les fonctions exécutives serait moins dégradé par l'avancée en âge chez les femmes par rapport aux hommes et donc plus à même de bien répondre aux programmes d'intervention.

Une autre explication des différences de résultats entre hommes et femmes se base sur l'effet de genre qui met l'accent sur les différences hommes-femmes construites socialement, et qui engendrent les notions de « masculinité » et « féminité » (Scott & Marshall, 2009). Indépendamment des améliorations de la condition physique, le choix du type d'activité pratiquée pourrait conduire à différentes stimulations cognitives (et à leur tour, agir différemment sur la plasticité cérébrale). Certaines activités pourraient impliquer des fonctions cognitives précises et par conséquent influencer sur le niveau de performance dans des tâches cognitives spécifiques voisines (Habacha, Molinaro & Dosseville, 2014 ; Voss et al., 2010). Il est ainsi plausible que les effets bénéfiques trouvés uniquement chez les femmes soient en réalité en lien avec le type d'activité auxquelles elles participent, ou à la façon dont elles la pratiquent, plutôt que directement lié au fait que ce soient des femmes. Cette hypothèse est supportée par plusieurs travaux annonçant que des inégalités de choix et de fréquence d'activité physique sont observées entre les femmes et les hommes après l'enfance (Caspersen, Pereira & Curran, 2000) et que la danse s'est avérée être l'activité la plus efficace pour préserver les fonctions cognitives des personnes âgées parmi onze activités physiques (Verghese et al., 2003). Dans notre étude, l'évaluation de l'activité physique pratiquée sur le long terme a révélé que les hommes avaient des dépenses énergétiques significativement plus élevées que les femmes, mais ne bénéficiaient d'aucun impact sur la cognition. Ces résultats sont en accord avec d'autres études (e.g., Sumic et al., 2007) et remettent en question l'importance de l'intensité de l'activité physique et de l'amélioration de la condition physique, longtemps considérées comme des conditions sine qua non pour obtenir des bienfaits sur la cognition (Young, Angevaren, Rusted & Tabet, 2015).

Un dernier domaine qui peut aussi avoir été impliqué dans les différences de sexe trouvées au sein de cette étude concerne les mécanismes psychologiques. Plusieurs travaux suggèrent que les effets de l'activité physique sur la cognition pourraient s'expliquer en partie par des effets indirects (e.g., Bherer, 2015). L'activité physique améliorerait certains aspects de la santé (e.g., le stress), qui, à leur tour, impacteraient les fonctions cognitives. Il a effectivement été démontré que le stress psychologique est néfaste pour la cognition (e.g., Lupien, McEwen, Gunnar & Heim, 2009), et que l'activité physique peut amortir cet impact négatif (e.g., Moraska & Fleshner, 2001). Parallèlement, plusieurs travaux soulignent que les réactions au stress diffèrent considérablement en fonction du sexe (Bale & Epperson, 2015 ; Taylor et al., 2000). Ainsi, si certains facteurs psychologiques influencent différemment les hommes et les femmes, alors il est

envisageable que les résultats de cette étude soient liés à ces divergences d'effets indirects, qui, à leur tour, jouent un rôle sur la cognition.

Cette étude trouve son originalité dans le fait de chercher à clarifier le rôle modérateur de l'activité physique sur la cognition, en l'abordant i) tout au long de l'âge adulte, (ii) à travers une approche spontanée récente ou pratiquée sur le long terme, (iii) tout en tenant compte de l'influence du sexe.

L'approche spontanée de ce travail engendre des limites importantes, du fait de sa nature déclarative et indirecte, et peut ainsi atténuer la portée des résultats. Cependant, elle reste intéressante car elle est plus facile à transférer dans la communauté et certainement plus représentative de la vraie vie. Je pense donc que, bien qu'imparfaite, cette approche peut contribuer à comprendre comment les phénomènes de plasticité peuvent se mettre en place « naturellement », pour adapter les stratégies de prévention du déclin cognitif lié à l'âge.

I.3 Contributions expérimentales : activité physique « enrichie »

La seconde partie de mes contributions expérimentales sur la relation activité physique-fonctionnement cognitif aborde cette fois une approche plus enrichie, dans le sens où l'activité physique n'est plus appréhendée seule, mais en parallèle d'autres facteurs modérateurs.

I.3.1 Impact du style de vie général sur le niveau cognitif tout au long de l'âge adulte

Comme nous l'avons présenté précédemment, la théorie de l'enrichissement cognitif stipule que tout comportement d'un individu peut avoir une influence sur son fonctionnement cognitif. L'activité physique représente probablement un des comportements les plus étudiés. Le style de vie cognitif a également fait l'objet de plusieurs travaux. Diverses études observationnelles et interventionnelles, ainsi que les neurosciences fondamentales, suggèrent que le déclin cognitif lié à l'âge pourrait être positivement compensé par des activités stimulantes sur le plan intellectuel (e.g., Basford & Malec, 2015 ; Kramer et al., 2004 ; Wang, Xu & Pei, 2012). La pratique régulière d'activités cognitives semble être favorable au bon vieillissement cognitif (e.g., Arfanakis et al., 2016 ; Wilson, Segawa, Boyle & Bennett, 2012) et diminuer les risques de développer une démence (Blasko et al., 2014 ; Cheng et al., 2014). Le niveau de relation sociale a également été investigué, démontrant un impact considérable sur la dépression (pour revue : Santini, Koyanagi, Tyrovolas, Mason & Haro, 2015), les maladies coronariennes (pour revue : Hemingway & Marmot, 1999), le déclin fonctionnel (e.g., Avlund et al., 2004) et la mortalité (e.g., Eng, Rimm, Fitzmaurice & Kawachi, 2002 ; Iwasaki et al., 2002). Dans le domaine de la cognition, tant les psychologues que les sociologues s'accordent pour dire que l'isolement social accélère le déclin cognitif du vieillissement (Berkman, Glass, Brissette & Seeman, 2000 ; Schaie, 1983).

D'autres types d'activités, qui sont rarement appréhendés lorsqu'on s'intéresse au style de vie ont déjà laissé présager un effet positif sur la cognition. C'est le cas de la méditation (Xiong & Doraiswamy, 2009 ; Zeidan, Johnson, Diamond, David & Goolkasian, 2010), ou encore de l'écoute de la musique (pour revue, MacDonald, Kreutz & Mitchell, 2012). Pour finir, d'autres modérateurs potentiels qui ont reçu jusqu'à maintenant relativement peu d'attention dans la littérature sont les comportements de santé. Bien qu'ils aient été largement étudiés vis-à-vis de leur influence sur diverses maladies chroniques, beaucoup de questions restent encore posées en ce qui concerne l'impact de plusieurs comportements de santé sur la cognition tout au long de la vie adulte. L'alimentation jouerait ainsi un rôle sur la santé du cerveau et sur la cognition (e.g., Gómez-Pinilla, 2008 ; pour revue : van de Rest, Berendsen, Haveman-Nies & de Groot, 2015), tout comme la consommation de tabac (e.g., Anstey, von Sanden, Salim & O'kearney, 2007 ; Sabia et al., 2012), et la qualité du sommeil (pour revue, Yaffe et al., 2014).

Toujours en s'appuyant sur l'hypothèse de l'enrichissement cognitif (e.g., Hertzog et al., 2008), la deuxième partie du travail doctoral d'Iréné Lopez a cherché à examiner quels autres comportements enrichis du style de vie pourraient être efficaces pour lutter contre le déclin cognitif lié à l'âge. Le style de vie est appréhendé ici au sens large, incluant des dimensions connues pour leurs effets modérateurs sur la cognition, mais également des dimensions ayant été peu investiguées. Ainsi, nous avons pour objectif de mesurer l'influence des activités physiques, mais également des sollicitations cognitives, des relations sociales, ainsi que des dimensions moins étudiées dans le domaine du vieillissement cognitif, telles que les autres activités de loisirs (e.g., écouter de la musique, méditer, etc.) et les comportements de santé (e.g., alimentation, sommeil et consommation de tabac et d'alcool) sur le déclin cognitif lié à l'avancée en âge. Au regard de ce questionnement, l'approche transversale rétrospective⁷ à partir de questionnaires se révèle être l'approche la plus pertinente pour mesurer l'impact des différentes composantes du style de vie sur la cognition actuelle (Gow, Pattie & Deary, 2017 ; Wilson, Barnes & Bennett, 2003). Cette volonté d'appréhender un large éventail de dimensions du style de vie nous a tout d'abord menées à la création d'un questionnaire, le GLQ (*General Lifestyle Questionnaire*) aujourd'hui validé, répondant aux besoins de cette recherche (Lopez-Fontana, Castanier, Le Scanff & Perrot, 2020). En effet, il n'existait pas d'outil de mesure du style de vie validé en langue française, complet, recensant toutes les dimensions qui nous intéressaient (notamment les nouveaux types de loisirs). Composé de 46 items, le GLQ récolte des données sur les activités réalisées au cours des 12 derniers mois. Il inclut (a) les activités cognitives (9 items) ; (b) les activités sociales (10 items) ; (c) les activités physiques (9 items) ; (d) les autres activités

⁷ Parmi les études transversales se trouve la méthode rétrospective. L'observation s'opère à un moment précis et porte sur une période prolongée. Cependant, contrairement aux études longitudinales prospectives, l'approche rétrospective ne pointe pas vers l'avenir mais vers le passé (e.g., Middleton, Barnes, Lui, & Yaffe, 2010 ; Rouillard et al., 2016).

de loisirs (7 items) ; puis (e) les comportements de santé incluant le sommeil (2 items) ; les habitudes alimentaires (5 items) et la consommation de tabac (2 items) et d'alcool (2 items). Le questionnaire demande de renseigner la fréquence de participation, au cours des 12 derniers mois, aux activités présentées par chaque item, les réponses étant données sur une échelle de Likert en 5 points.

Afin de tester l'effet modérateur du style de vie sur la relation âge-cognition, 102 participants (59 femmes) âgés de 18 à 87 ans, ont été évalués sur leur niveau de fonctionnement exécutif (à travers plusieurs tests psychométriques regroupés en un score composite) et sur leur style de vie (à partir du GLQ).

Des analyses de régressions multiples ont été réalisées en suivant la procédure d'Aiken et West (1991). Toutes les variables prédictives ont été centrées (par rapport à leur moyenne) avant d'être introduites dans les analyses. Deux modèles de régressions multiples ont été utilisés (Figures 8 et 9). Le NSC a été incorporé au modèle dès le début de l'analyse. Chacune de ces étapes a été effectuée pour le style de vie global (modèle 1) et pour chacune des dimensions du style de vie (dimension cognitive : modèle 1A, dimension sociale : modèle 1B, etc).

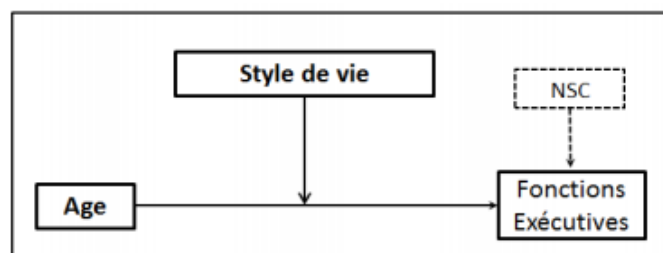


Figure 8 : Modèle 1 - Effet modérateur du style de vie sur la relation âge-cognition, avec le NSC en variable contrôlée

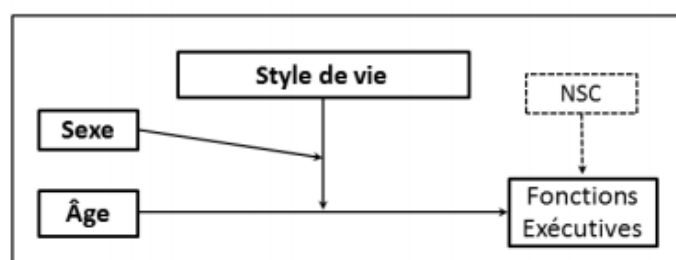


Figure 9 : Modèle 2 - Effet modérateur du sexe et du style de vie sur la relation âge-cognition, avec le NSC en variable contrôlée

Dans les modèles 1 et 2, le score composite de fonctions exécutives constitue la variable critère, l'âge est traité en tant que variable continue, le style de vie est considéré comme une variable

modératrice continue de la relation âge-cognition et le NSC est contrôlé. Pour le modèle 2, le sexe est traité en tant que variable modératrice dichotomique.

Dans un premier temps, les résultats confirment une relation négative entre l'âge et la cognition ($\beta = -.667, p < .001$), se traduisant par un déclin significatif de la cognition au fur et à mesure de l'avancée en âge. De plus, la corrélation ($r = -.67, p < .001$) et la courbe de tendance linéaire associée montrent que le déclin commence au début de la vie adulte (Figure 10) et que l'âge explique 44.5% de la variance des fonctions cognitives.

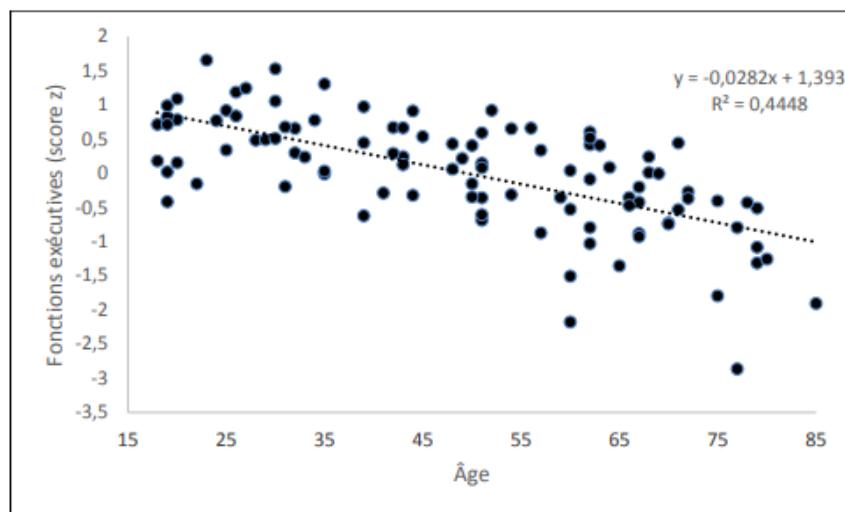


Figure 10 : Relation basique entre âge et cognition

Les résultats concernant le modèle 1 révèlent tout d'abord que l'analyse des effets (simple et d'interaction) du style de vie « global », et des dimensions « sociale », « physique » et « autres activités de loisirs » sur la relation âge-cognition est non significative. Ensuite, l'analyse de l'impact du style de vie « cognitif » sur la relation âge-cognition montre un effet simple significatif sur la cognition ($\Delta R^2 = .017, p = .044$; $\beta = .137, p = .044$). Enfin, l'analyse de l'impact des « comportements de santé » sur la relation âge-cognition montre un effet simple négatif significatif sur la cognition ($\Delta R^2 = .002, p = .024$; $\beta = -.150, p = .024$), due à l'alimentation qui est la seule sous-dimension à révéler cet effet simple significatif ($\Delta R^2 = .025, p = .016$; $\beta = -.159, p = .016$).

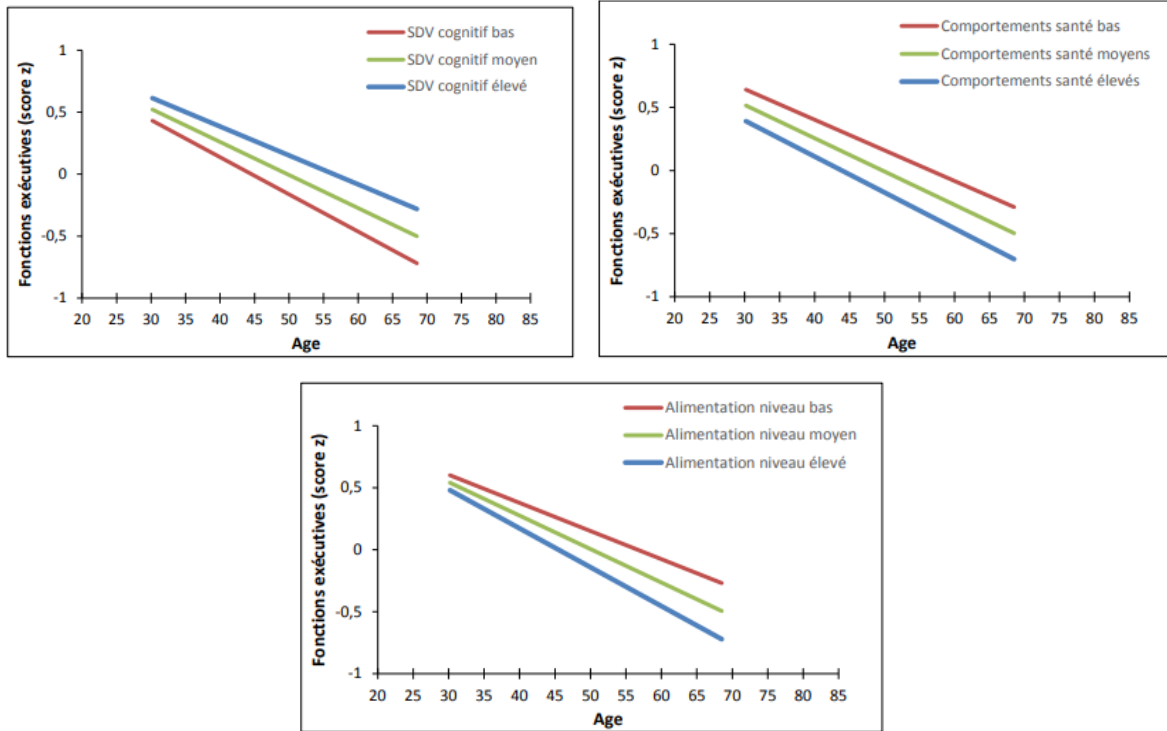


Figure 11 : effet simple du style de vie cognitif, des comportements de santé et de l'alimentation sur la cognition (tous sexes confondus)

Les résultats concernant le modèle 2 révèlent tout d'abord un effet modérateur significatif chez les femmes du style de vie « global » ($\beta = .259$, $p = .003$, Figure 12), mais également des dimensions « sociale » ($\beta = .261$, $p = .003$, Figure 13), et « autres activités de loisirs » ($\beta = .187$, $p = .025$, Figure 14). Aucun résultat significatif de la variable sexe en variable modératrice pour les dimensions du style de vie « cognitif », « physique », et « comportements de santé » n'a été observé.

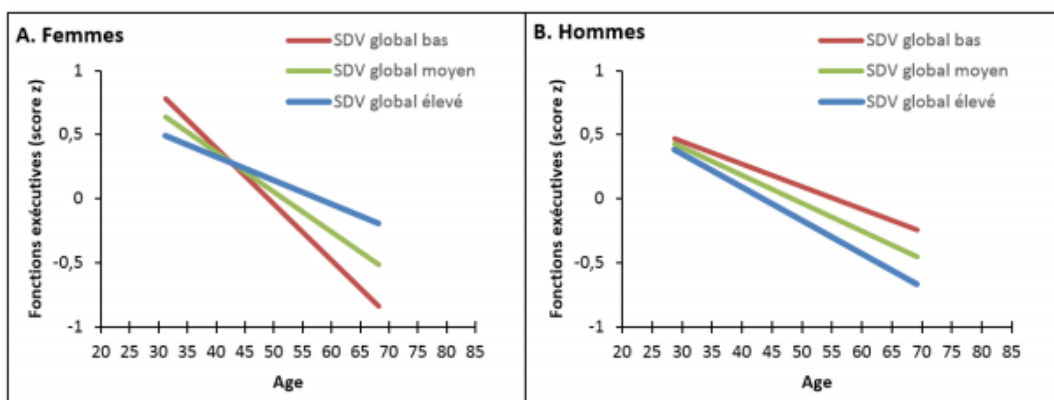


Figure 12 : Interaction entre l'âge et style de vie « global » sur le score composite des fonctions cognitives chez les femmes (gauche) et les hommes (droite)

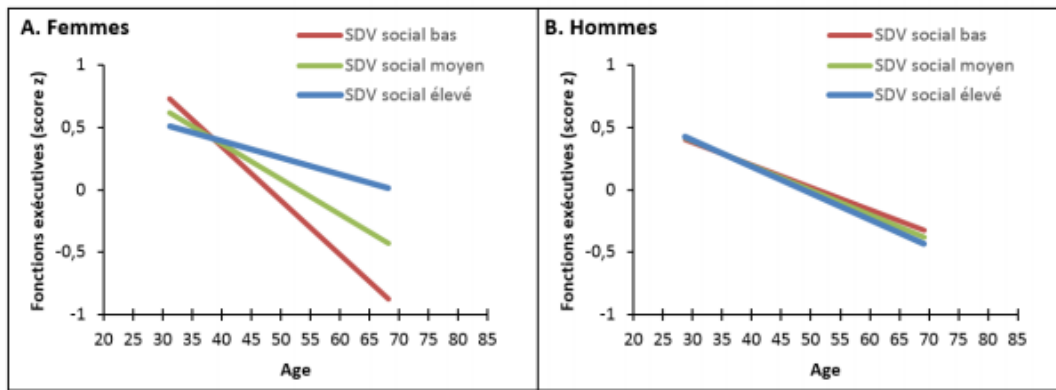


Figure 13 : Rôle du sexe dans la relation entre style de vie « social » et déclin cognitif lié à l'âge

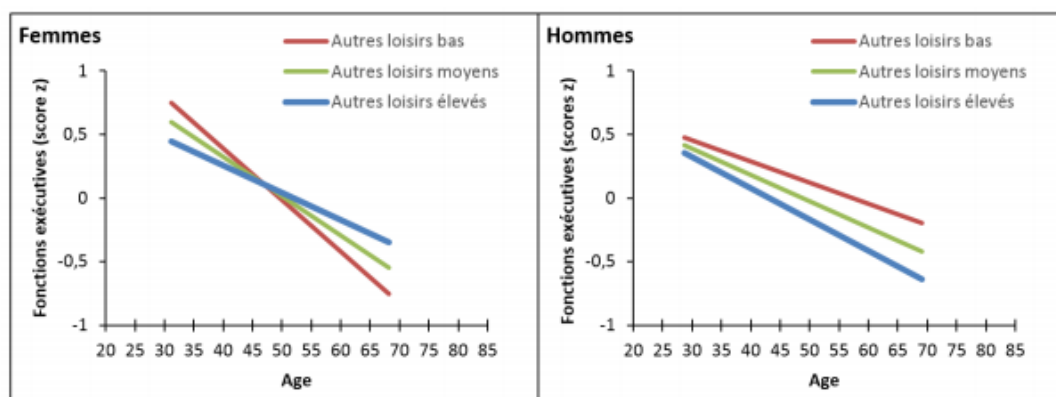


Figure 14 : Rôle du sexe dans la relation entre le style de vie « autres activités de loisirs » et le déclin cognitif lié à l'âge

La contribution scientifique de ce travail réside dans l'approfondissement des effets du sexe sur les bienfaits du style de vie sur la cognition, là où bien souvent cette variable est contrôlée voire ignorée dans la littérature. Les résultats nous révèlent alors que le style de vie « global » serait influent uniquement sur la cognition des femmes, notamment à travers le style de vie social et la pratique des autres activités de loisirs. Les résultats du style de vie social sont particulièrement intéressants dans la mesure où les relations sociales ont été relativement peu évaluées pour leur impact sur la cognition⁸, comparativement à d'autres dimensions du style de vie telles que les activités physiques ou les sollicitations cognitives. De plus, cette étude évalue des aspects diversifiés du style de vie social, en incluant les formes les plus récentes de communications interindividuelles (e.g., utilisation des réseaux sociaux, sms), souvent absentes dans les autres études et faisant pourtant partie intégrante des relations sociales actuelles. Les bienfaits observés, qui sont en accord avec plusieurs travaux (e.g., Barnes, De Leon, Wilson, Bienias &

⁸ Cette variable est parfois contrôlée dans les études interventionnelles, ce qui suggère qu'elle est considérée comme influente sur la cognition (e.g., Audiffren et al., 2011).

Evans, 2004 ; Freeman, Spirgiene, Martin-Khan & Hirdes, 2016) pourraient être liés à la stimulation cognitive induite par les activités sociales (Berkman, 2000), dont l'exposition régulière pourrait maintenir ou même promouvoir des réseaux neuronaux efficaces en répondant à la théorie « utilise-le ou perds-le » (Hultsch et al., 1999) et participer au renforcement de la réserve cognitive (Stern, 2009). De plus, les relations sociales peuvent jouer un rôle positif sur l'humeur et procurer un sentiment de bien-être général, pouvant à leur tour avoir un rôle protecteur sur la cognition (Di Marco et al., 2014). Mais ces théories explicatives ne permettent pas de comprendre pour quelles raisons les bienfaits seraient spécifiques aux femmes. Une dernière hypothèse stipule que la réduction de stress engendrée par les relations sociales pourrait jouer un rôle bénéfique sur la cognition (Fratiglioni, Paillard-Borg & Winblad, 2004 ; Saczynski et al., 2006). Le stress, via des effets indirects, pourrait expliquer les différences de résultats entre hommes et femmes, dans la mesure où des divergences de réponses neurobiologiques en fonction du sexe ont été démontrées dans les recherches portant sur la réaction au stress (Taylor et al., 2000 ; Zunzunegui et al., 2003). Cette proposition constituerait la principale hypothèse explicative des bienfaits cognitifs du style de vie social constatés uniquement chez les femmes.

Les « autres activités de loisirs » se sont également montrées efficaces pour lutter contre le vieillissement cognitif des femmes, mais pas celui des hommes. Cette dimension qui comporte des items d'activités réalisées pour se détendre et/ou se faire plaisir, a déjà démontré des effets cognitifs lors d'études antérieures (Fabrigoule et al., 1995 ; MacDonald, Kreutz & Mitchell, 2012 ; Xiong & Doraiswamy, 2009 ; Zeidan, Johnson, Diamond, David & Goolkasian, 2010). Cependant, à notre connaissance, cette étude est la première à mettre en relief le rôle modérateur du sexe dans cette relation. Même si notre design d'étude ne permet pas d'approfondir les mécanismes sous-jacents liés aux bienfaits de ces diverses activités, plusieurs travaux stipulent que tout stimulus améliorant la façon dont une personne se sent peut améliorer son fonctionnement cognitif (Schellenberg, 2005 ; Thompson, Schellenberg & Husain, 2001). Tout comme l'hypothèse explicative du style de vie social, il semble également pertinent de penser que la pratique d'activités de détente et/ou pour le plaisir puisse être corrélée à un niveau réduit de stress (e.g., Xiong & Doraiswamy, 2009) et ainsi expliquer les différences observées entre les effets cognitifs chez les femmes et chez les hommes de par leurs divergences de réaction au stress (e.g., Taylor et al., 2000).

Pour terminer la présentation des résultats de cette étude, deux dimensions montrent des effets significatifs chez les deux sexes, à savoir le style de vie cognitif ainsi que les comportements de

santé⁹. Concernant le style de vie « cognitif », les résultats confirment de précédents travaux (e.g., Arfanakis et al., 2016 ; Bennet et al., 2014 ; Wilson, Segawa, Boyle & Bennett, 2012) en révélant qu'une fréquence élevée de participation à des activités stimulantes sur le plan intellectuel semble mener à de meilleures performances cognitives, même si elle ne permet pas de ralentir le déclin en lui-même. La dimension « autres comportements de santé » révèle qu'une alimentation saine et équilibrée serait inversement liée à de bonnes capacités cognitives. Même si ce résultat est contraire à certaines études qui défendent qu'une bonne alimentation préserve les fonctions cognitives du vieillissement (e.g., Kesse-Guyot et al., 2013 ; Kesse-Guyot, Andreeva, Lassale, Hercberg & Galan, 2014 ; Martínez-Lapiscina et al., 2013), il fait écho à d'autres travaux remettant en question ces bienfaits (e.g., Cherbuin & Anstey, 2011 ; Tangney et al., 2011). L'« alimentation » au sein du GLQ ne représente qu'une sous-dimension d'un questionnaire dont l'objectif principal n'était pas de mesurer précisément les comportements alimentaires, mais plutôt d'avoir un aperçu des habitudes de vie en terme de comportement de santé et plus largement du style de vie global des participants. Le but principal de la sous-dimension « alimentation » était donc de mesurer si les sujets avaient tendance à être vigilants pour adopter des comportements alimentaires connus pour être salutaires, ou non¹⁰. La désirabilité sociale a pu engendrer un biais méthodologique important en incitant certains participants à répondre en adéquation avec ce qu'ils ont pu considérer comme étant des comportements valorisés socialement. Une seconde hypothèse explicative consiste à se demander si une alimentation saine pour lutter contre certaines maladies chroniques ne différencierait pas de celle dont le cerveau a besoin. En effet, certains aliments gras semblent jouer un rôle essentiel pour la cognition, et même préserver contre certaines démences et notamment la maladie d'Alzheimer (e.g., Barberger-Gateau et al., 2007 ; Cunnane et al., 2009 ; Laitinen et al., 2006), alors qu'ils sont plutôt considérés comme néfastes pour la santé. Il en est de même pour les glucides qui représentent la principale source d'énergie du cerveau, qui consomme à lui seul environ 25% de l'énergie totale de glucose (pour revue, Wahl et al., 2016).

Pour conclure, cette étude de thèse permet de mieux cerner les effets spécifiques de divers styles de vie sur la cognition tout au long de l'âge adulte. Elle souligne notamment que diverses dimensions du style de vie influencent significativement le vieillissement cognitif, et ce après le contrôle de facteurs environnementaux connus comme impactant fortement la cognition, à

⁹ Concernant la dimension physique, nos résultats ne révèlent pas d'effets significatifs sur la cognition, indépendamment du sexe. Ce constat fait écho aux résultats obtenus dans la 1^{ère} partie de la thèse d'Iréné Lopez, les caractéristiques des questionnaires pour évaluer le niveau d'activité physique des deux études étant très proches. Cette absence d'effet de l'activité physique à court terme semble à nouveau encourager la mesure de l'activité physique au-delà d'une période d'un an (Kelly et al., 2014).

¹⁰ Pour cela, la stratégie adoptée était de proposer des items portant sur la campagne de prévention nommée « Programme National Nutrition et Santé » (PNNS), assimilée aux slogans véhiculés par les médias français tels que « Ne mangez pas trop gras, ni salé, ni sucré », « Mangez au moins cinq portions de fruits et légumes par jour », etc.

savoir le niveau d'études et les sollicitations cognitives professionnelles (e.g., Andel, Kareholt, Parker, Thorslund & Gatz, 2007 ; Bennett, Arnold, Valenzuela, Brayne & Schneider, 2014 ; Rouillard et al., 2016). Cette étude met également en lumière que l'enrichissement cognitif est un phénomène difficile à appréhender car sensible à différents facteurs comme le style de stimulation, l'historique de pratique et surtout le sexe. Cette conclusion fait écho aux propos de Fissler et collaborateurs qui, en 2013, soulignent que les effets du style de vie social, cognitif et/ou physique interagissent avec de nombreuses caractéristiques individuelles, comme les profils génétiques (qui peuvent intervenir sur le risque de développer la maladie d'Alzheimer ou la production de BDNF), le sexe, ou encore la personnalité. Par exemple, certaines personnes profiteront davantage des bienfaits de l'activité physique si elles possèdent une certaine forme du gène BDNF (e.g., Canivet et al., 2015). D'autres profiteront davantage d'activités sociales selon leur trait de personnalité (e.g., Wang et al., 2009) ou leur sexe (Wang et al., 2013). Et enfin, les bénéfices d'une activité cognitive pourraient se voir amplifiés par certains gènes liés à la dopamine (Bellander et al., 2011). Les variables essentielles à prendre en considération dans les recherches visant à comprendre les modérateurs du vieillissement cognitif sont donc multiples et complexes, ce qui laisse encore la place à d'intéressantes perspectives de recherche.

L'ensemble des contributions expérimentales qui viennent d'être présentées est basé sur une approche transversale. Ce choix méthodologique se justifie tout d'abord dans un souci d'appréhender l'impact d'une activité physique pratiquée dans un contexte spontané. Ensuite, certaines variables du style de vie étudiées ici, comme les stimulations sociales ou les autres types de loisirs sont délicates à appréhender sans une approche rétrospective. Pour autant, cette approche transversale présente quelques limites, notamment vis-à-vis des conclusions que nous pouvons tirer de ces travaux. En effet, les analyses transversales imposent, de par leur nature, une certaine prudence vis-à-vis de l'interprétation des résultats, en particulier dans les études sur le vieillissement, étant donné qu'elles ne permettent pas d'évaluer les changements dus à l'avancée en âge, mais uniquement de mettre en évidence des différences entre les âges. Les sujets n'appartiennent pas à la même génération, ce qui ne garantit pas les mêmes expériences de vie. Aucun élément ne peut certifier que les sujets jeunes vieilliront de la même manière que les sujets âgés. Cet effet de cohorte représente une des limites essentielles de la méthode transversale. Ensuite, lorsque l'on cherche à étudier l'impact d'une activité particulière sur le vieillissement cognitif, il est impossible d'affirmer précisément que les tendances observées proviennent exclusivement de la pratique de celle-ci. De plus, il s'agit le plus souvent de mesures auto-rapportées, associées à un risque de désirabilité sociale. Enfin, cette méthode ne permet pas d'établir un lien de causalité, et donc de distinguer si ce sont des prédispositions génétiques physiques et/ou cognitives qui ont poussé certains individus à avoir un style de vie différent

(e.g., exercer une activité physique régulière), ou si l'amélioration du fonctionnement cognitif général provient bien d'un style de vie davantage actif. Face à ces limites, l'approche interventionnelle offre un moyen de neutraliser le problème de causalité. En effet, elle consiste à étudier l'impact d'un programme d'entraînement sur les performances de participants souvent novices. Cette approche offre un plus grand contrôle sur l'évaluation des effets de l'enrichissement cognitif, de par l'assignation aléatoire des participants à des traitements spécifiques, et comparés à un ou plusieurs groupes contrôles. Par conséquent, les études interventionnelles apparaissent comme un puissant outil méthodologique pour explorer l'ampleur des effets de l'enrichissement sur la cognition humaine, et identifier les mécanismes sous-jacents à ces effets en comparant les groupes expérimentaux appropriés.

Comme nous l'avons annoncé précédemment, tous les styles de vie ne se soumettent pas à cette approche expérimentale. Cependant, les prochains travaux qui vont être présentés se centrent principalement sur les stimulations cognitives et physiques, et se prêtent donc pleinement à un protocole interventionnel. Cette approche, bien que moins naturelle¹¹, apparaît à nos yeux et à travers la littérature comme la plus adéquate et pertinente à l'évaluation de cet enrichissement. Nous considérons qu'elle complète l'approche spontanée afin d'étendre la compréhension de l'impact de l'activité physique sur la cognition.

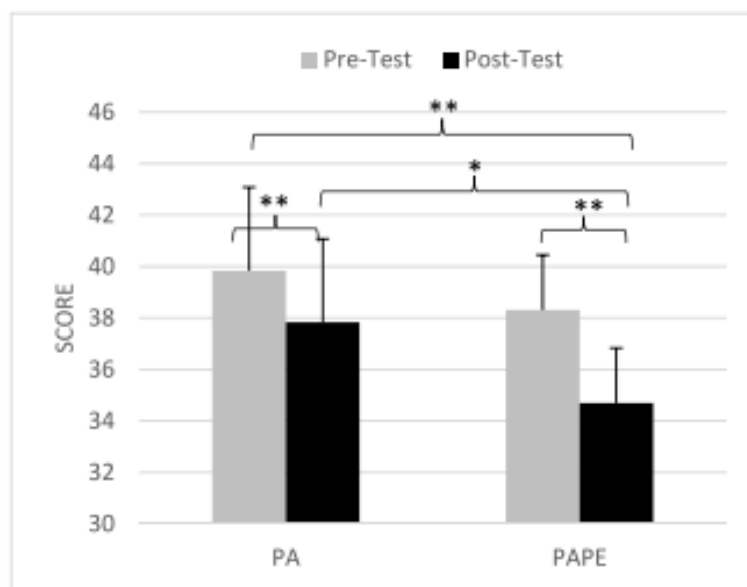
I.3.2 Impact d'un programme d'intervention en activité physique combiné à de l'éducation thérapeutique du patient sur les facteurs de risque de chute de personnes âgées chuteuses

Cette étude interventionnelle, mise en place par Amir Ayad, étudiant de M2 ne se focalise pas sur le fonctionnement cognitif, mais davantage sur les facteurs de risque de chute des personnes âgées, à travers leurs capacités d'équilibre statique et dynamique et leur état psychologique vis-à-vis de la peur de chuter. Tout comme les fonctions cognitives, ces facteurs se montrent déterminants dans les activités du quotidien et revêtent un intérêt certain à la compréhension du bien vieillir. Un tiers des plus de 65 ans chute chaque année (Inserm, 2015), ce qui représente une cause majeure de blessures, pouvant engendrer hospitalisations, placement en établissements médicalisés et décès. Face à cette problématique, de nombreux programmes d'intervention sont mis en place (pour revue, Gillespie et al., 2012), notamment des programmes proposant de l'activité physique (e.g., Buchner et al., 1997 ; Gardner, Robertson & Campbell, 2000), sources d'améliorations de l'équilibre, de la force musculaire et/ ou de la peur de chuter (Howe, Rochester, Jackson, Banks & Blair, 2007 ; Sherrington et al., 2008). Certains programmes proposent également une Education Thérapeutique du Patient (ETP) pour prévenir de la chute,

¹¹ Dans le sens où une dose d'activité physique est comme « injectée » dans la vie des individus, sans qu'il s'agisse d'une démarche entièrement délibérée.

en fournissant aux patients des informations et des instructions sur leur santé afin de les aider à mieux la gérer au quotidien. Mais cette approche reste rare puisqu'en 2013, sur environ 30 programmes d'ETP à visée des personnes âgées, seulement quatre concernaient la prévention des chutes (Pariel et al., 2013). Concernant son efficacité, elle n'est pas évidente puisque Gillespie et ses collaborateurs (2012) soulignent que dans sa forme exclusive, les bénéfices de l'ETP ne sont pas significatifs mais que cette approche est intéressante lorsqu'elle fait partie d'un protocole multifactoriel. L'étude présentée ici a donc consisté à évaluer, chez des personnes âgées chuteuses hospitalisées en Soins de Suite et Réhabilitation, l'efficacité d'un programme d'éducation thérapeutique (ETP) couplé à un programme d'activité physique sur les facteurs de risque de chute (Perrot, Ayad, Gernigon & Maillot, 2019a). Ce programme combiné a été comparé à un programme contrôle proposant uniquement de l'activité physique. Trente patients chuteurs ont été évalués sur des tests d'équilibre statique et dynamique (i.e., TUG et Tinetti) et sur la peur de chuter (i.e., FES-I). Ils ont ensuite été assignés, aléatoirement, soit au groupe pratiquant l'activité physique seule, basée sur des exercices d'endurance, de souplesse, d'équilibre et de renforcement musculaire, pendant 24 séances, soit au groupe pratiquant les séances d'activité physique couplées à quatre séances d'éducation thérapeutique sur la prévention des chutes. Pour les deux programmes, les résultats, qui révèlent des différences significatives entre le pré-test et le post-test sur chaque score d'équilibre et sur la peur de chuter, confirment que les personnes âgées fragilisées par une chute peuvent bénéficier de programmes d'intervention, avec, de plus, un bon taux d'adhésion (plus de 73% de séances réalisées). Un seul effet d'interaction (groupe x temps) est observé sur le FES-I, ce qui signifie que la peur de chuter a davantage diminué dans le groupe « activité physique et éducation thérapeutique » que dans le groupe « activité physique » (Figure 15).

La peur de chuter est un facteur important à prendre en compte. En effet, 40 à 70% des personnes âgées qui ont déjà chuté ressentent une peur de chuter à nouveau (Jung, 2008). Par voie de conséquence, elles diminuent leurs activités quotidiennes, se perçoivent affaiblies physiquement, et psychologiquement (diminution de l'estime de soi et de la confiance en soi), et augmentent leur risque d'être placées en établissement médicalisé (Brouwer, Musselman & Culham, 2004 ; Cumming, Salkeld, Thomas & Szonyi, 2000). Le fait d'avoir constaté que l'éducation thérapeutique favoriserait une plus grande diminution de la peur de chuter est donc un résultat non négligeable puisque retrouver confiance en ses déplacements dans les activités du quotidien est déterminant dans le maintien de l'autonomie et dans la prévention des chutes.



*: post hoc $p < .05$; **: post hoc $p < .001$

Figure 15 : Résultats obtenus sur le questionnaire de peur de chuter (FES-I) entre les pré-tests et post-tests des groupes « Activité Physique et Education Thérapeutique (PAPE) et « Activité Physique »(PA) (extrait de Perrot, Ayad, Gernigon & Maillot, 2019, p. 6)

I.3.3 Impact d'un programme d'intervention combiné sur le niveau cognitif de personnes MCI

« La démence est une marée montante que l'on voit progresser dans le monde entier [...] qu'il faut investir davantage dans la recherche »¹². Nous sommes aujourd'hui face à une situation sans précédent, puisqu'avec l'augmentation de l'espérance de vie, le nombre de diagnostics de démences explose. Il existe néanmoins une évolution plus ou moins rapide entre l'instant où le processus se met en route et le moment où le diagnostic est posé. Plusieurs travaux ont démontré que les sujets en phase pré-clinique de démence pouvaient souffrir d'un déclin de leurs performances cognitives plusieurs années avant le diagnostic clinique de démence (e.g., Petersen, 2004 ; Petersen, Doody, Kurz, et al., 2001 ; Winblad et al., 2004). Cette fenêtre temporelle suggère le caractère évolutif de ces pathologies et l'existence de plusieurs stades avant la perte d'autonomie totale. Un des premiers stades réfère aux personnes dites MCI (*Mild Cognitive Impairment*), c'est-à-dire atteintes de troubles cognitifs légers souffrant d'une diminution majorée des performances cognitives, considérée comme non pathologique mais potentiellement à risques (e.g., Flicker, Ferris & Reisberg, 1991). Ces troubles cognitifs légers sont définis comme « une plainte mnésique subjective idéalement corroborée par un tiers, des

¹² Déclaration de Dr Margaret Chan, directrice générale de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le 17 mars 2015 à Genève lors de la conférence ministérielle sur l'action mondiale contre la démence.

déficits cognitifs objectifs et progressifs, des activités de la vie quotidienne normales ou légèrement perturbées, et une absence de démence » (Petersen et al., 2001, p. 1986). Ce terme désigne donc un état cognitif moins performant que celui attendu pour l'âge et pour le niveau socio-culturel du sujet, mais pas suffisamment sévère pour correspondre à un état démentiel (Petersen et al., 1999). Il peut référer également à une altération des capacités motrices (e.g., Muir et al., 2012).

L'installation progressive des troubles laisse entrevoir la possibilité d'influencer le devenir de ces personnes âgées fragilisées, en cherchant à stimuler leurs capacités motrices et cognitives afin de préserver le plus longtemps possible leur autonomie, voire de les faire revenir à un vieillissement normal¹³. Plusieurs programmes d'intervention de stimulations physique ou cognitive montrent des résultats encourageants sur les performances de ces profils. Tout d'abord, plusieurs travaux démontrent que ces types de stimulation représentent un facteur protecteur face au risque de démence (e.g., Grande et al., 2014 ; Lyketsos et al., 2002). Vis-à-vis des programmes en activité physique, quelques travaux menés sur des personnes MCI avancent un effet bénéfique d'une activité physique aérobie, notamment sur le fonctionnement exécutif (e.g., Baker et al., 2010 ; Scherder et al., 2005). Pour ce qui est des programmes en stimulation cognitive, des revues de littérature tendent à montrer un bienfait des entraînements cognitifs sur la cognition des sujets MCI, et considèrent ces programmes comme prometteurs (e.g., Horr, Messinger-Rapport & Pillai, 2015 ; Martin et al., 2011 ; Wang et al., 2014). Malgré cela, les travaux restent rares et les tailles d'effet assez faibles. Dans ce sens, la revue de littérature de Huckans et al. (2013) trouve que l'efficacité des interventions cognitives et physiques chez les MCI peut être considérée comme encourageante mais sans véritable conclusion. De plus, leurs effets peuvent paraître insuffisants pour répondre à l'ensemble des déficits des personnes MCI, concernant aussi bien le domaine cognitif que l'état psychologique et les capacités motrices telles que la marche. Ainsi, alors que les déficits sont présents sur plusieurs fonctionnements mettant donc en jeu des processus multiples, la stimulation à travers un seul type de stimuli pourrait paraître insuffisante. Cette hypothèse est clairement défendue par plusieurs auteurs qui regrettent que les interventions proposées aux personnes MCI soient ciblées sur un seul facteur pour améliorer leurs capacités, et qui soulignent la pertinence de combiner les interventions (e.g., Fissler et al., 2013 ; Schneider & Yvon, 2013 ; Teixeira et al., 2012). Tout d'abord, proposer simultanément activité physique et entraînement cognitif pourrait s'avérer être une méthode pertinente pour « booster » les fonctions cognitives et motrices (Bherer, 2015). Ensuite les mécanismes engendrés lors de stimulations cognitives et physiques pourraient, s'ils sont sollicités en même temps, initier des synergies qui augmenteraient les bienfaits (Falbo, Condello,

¹³ Suivant les études (e.g., Gauthier et al., 2006 ; Panza et al., 2005), 20 à 44% des personnes considérées comme ayant une atteinte MCI retournent vers un vieillissement usuel.

Capranica, Forte & Pesce, 2016 ; Fissler et al., 2013 ; Schneider & Yvon, 2013). La stimulation physique pourrait déclencher des effets neuroplastiques et la stimulation cognitive pourrait guider et consolider ces effets (Fabel & Kempermann, 2008 ; Kempermann et al., 2010). Enfin, placer les individus en situation de double tâche à travers cet entraînement simultané pourrait générer des transferts intéressants lors de situations du quotidien (Doi et al., 2014 ; Hagovska & Nagyova, 2016), d'autant plus que ces types de tâches sont difficiles et à risques chez les personnes ayant des troubles cognitifs, alors que très fréquents dans la vie quotidienne (Schaefer & Schumacher, 2011). Mourey et Manckoundia (2009) préconisent d'ailleurs en ce sens, de mettre en place des rééducations en double tâche cognitive et physique chez cette population.

La littérature a peu de recul empirique sur les bénéfices des programmes simultanés, d'autant plus sur des personnes MCI. Cependant, les rares travaux tendent à montrer une majoration des effets sur le nombre de variables impactées, tant sur le plan cognitif que moteur (e.g., Kurz et al., 2009 ; Law et al., 2014 ; Theil et al., 2013 ; Yoon et al. 2013). Ainsi, notre contribution expérimentale a consisté à mettre en place auprès d'une population MCI un programme d'activité physique couplée à un entraînement cognitif afin d'étudier dans quelles mesures ce type d'intervention pouvait majorer les améliorations cognitives et favoriser les effets sur des tâches sollicitant des processus multiples (e.g., tâches de vie quotidienne) (Combourieu, Perrot, Bloch, Belleville & Kemoun, 2018). Le présent travail s'est donc attaché à observer les effets à court et long terme de ce type de stimulation simultanée sur les capacités exécutives, cardiorespiratoires, psychologiques et motrices¹⁴ de sujets MCI puis à en comparer ses effets vis-à-vis de programmes effectués séparément. Cette approche méthodologique permettra d'explorer les effets de chaque entraînement, d'apprécier leurs propres bienfaits à court et moyen terme, puis, dans un deuxième temps, de comparer leurs améliorations.

Les effets de l'entraînement APEC (Activité Physique + Entraînement Cognitif) pourraient être qualifiés de : i) simple effet d'entraînement, non dissociable des effets de l'AP (Activité Physique) et de l'EC (Entraînement Cognitif) ; ii) effet additif, chaque entraînement engendrant un effet cumulable ; iii) un effet sous-additif, l'effet ne correspondant pas à l'addition de chaque entraînement, mais il resterait plus grand que l'effet simple ; iv) un effet inhibiteur, les effets des deux entraînements s'inhibant pour engendrer au final un effet diminué de l'effet simple ; v) un

¹⁴ La dimension motrice a été intégrée à ce travail car le maintien d'une indépendance fonctionnelle chez les personnes âgées n'est possible que si les capacités cognitives et motrices sont suffisantes. Chez les sujets MCI, alors que l'origine de leurs difficultés est centrée sur des performances cognitives, les conséquences de leurs troubles semblent bien plus transversales. Leurs déficits exécutifs majoreraient en effet les troubles dans les activités fonctionnelles telles que la marche.

effet sur-additif, la combinaison des deux effets créant une synergie et majorant l'effet de chaque entraînement (Figure 16) ¹⁵.

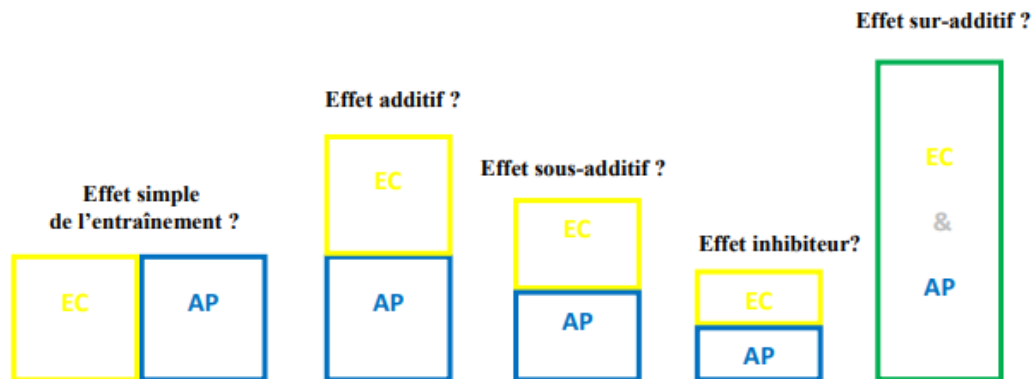


Figure 16 : Hypothèses des effets du programme simultané, en comparaison avec les deux programmes simples (issues de la thèse de Laure Combourieu, p. 104).

EC : entraînement cognitif – AP : activité physique – APEC : programme simultané d'activité physique et d'entraînement cognitif

Pour répondre à ces interrogations, une étude d'intervention appelée Mixtrain a été réalisée. 76 sujets âgés de plus de 65 ans, diagnostiqués MCI avec une altération du fonctionnement exécutif et un score MMSE supérieur à 24 ont été évalués sur un ensemble de tests exécutifs [i.e., Stroop Color Word Interference test (Stroop, 1935), Trail Making test (Corrigan & Hinkeldey, 1987), Batterie Rapide d'Efficiency Frontale (BREF ; Dubois, Slachevsky, Litvan & Pillon, 2000), Matrix reasoning test et Digit Span test (Wechsler, 1997)], sur la vitesse de traitement de l'information (via un test de temps de réaction), sur leur capacité cardiovasculaire (via le Rockport Test ; Kline et al., 1987), sur la qualité de vie (SF-36, Leplège et al., 1998) et sur la peur de chuter (FES-I ; Yardley et al., 2005). Les participants ont également été évalués sur plusieurs tests moteurs qu'il convient de détailler davantage. L'introduction de plusieurs tests moteurs de locomotion au sein de notre protocole se justifie, d'une part, par la large démonstration du lien qui existe entre les capacités de marche et les fonctions exécutives (e.g., Binder, Storandt & Birge, 1999 ; Hausdorff et al., 2008 ; Holtzer et al., 2007 ; Tabbarah, Crimmins & Seeman, 2002 ; Woollacott & Shumway-Cook, 2002 ; Yogev-Seligmann et al., 2008), d'autre part, par le constat de l'existence de troubles de la marche chez les personnes MCI (e.g., Allali et al., 2010 ; Al-Yahya et al., 2011 ; Doi et al., 2014 ; McGough et al., 2011). Enfin, nous nous interrogeons également sur la possibilité de transferts, suite à la pratique d'un entraînement cognitif et/ou physique, sur les capacités motrices du sujet MCI. Pour répondre à ces nombreuses questions, les participants ont été évalués en situation de marche simple, complexe et de double tâche. La marche simple est

¹⁵ Ces hypothèses sont issues de la revue de littérature d'Audiffren et collaborateurs en 2011

évaluée à partir du Timed and Go test (TUG, Podsiadlo & Richardson, 1991). La marche complexe est évaluée à partir de deux tests. Le premier, appelé le Walking Stroop Carpet (Perrochon et al., 2013) est en lien avec la capacité d'inhibition et exige de réaliser le test de stroop lors d'une tâche de marche sur tapis (Figure 17).



Figure 17 : Illustration du Walking Stroop Carpet (Perrochon et al., 2013), issue de la thèse de Laure Combourieu, p. 116

Le second, appelé le Walking Trail Making test est en lien avec la flexibilité attentionnelle et exige de réaliser le Trail Making test lors d'une tâche de marche sur tapis (Figure 18).

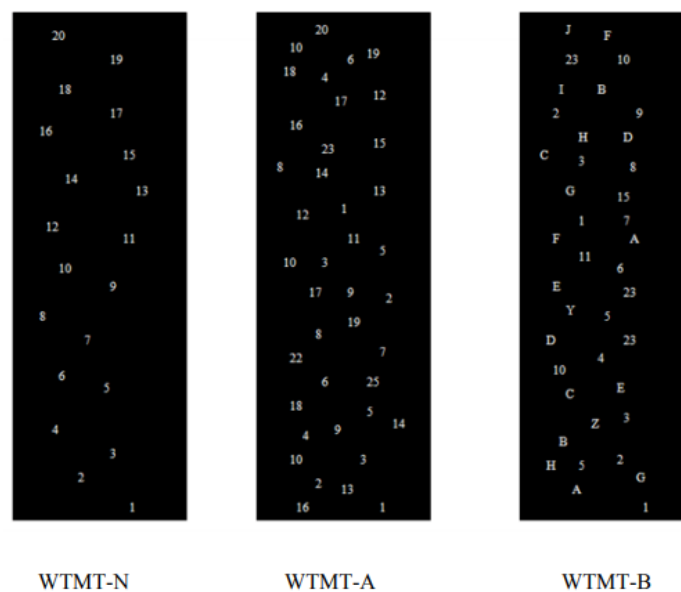


Figure 18 : Tapis des Walking Trail Making Tests (WTMT-N : Walking Trail Making test-neutre; WTMT-A : Walking Trail Making test-A WTMT-B : Walking Trail Making test-B)

La double tâche est évaluée à partir d'une situation de marche en décompte de nombres puis en inhibition auditive (ne compter que certains types de sons émis). Une fois toutes les évaluations pré-tests réalisées, chaque participant a été réparti de façon aléatoire dans un des quatre programmes proposés : i) un programme d'Activité Physique aérobie en intensité modérée (AP, 21 participants) ; ii) un programme d'Entraînement Cognitif ciblé sur les fonctions exécutives (EC, 19 participants) ; iii) un programme simultané d'Activité Physique aérobie et d'Entraînement Cognitif ciblé sur les fonctions exécutives (APEC, 21 participants) ; iv) aucune intervention (C, 15 participants). Chaque programme d'intervention s'étalait sur 12 semaines, à raison de 2 séances d'une heure par semaine. Une fois terminé, des post-tests immédiats et à 6 mois étaient mis en place. Les résultats révèlent une bonne attractivité des programmes AP, EC et APEC, avec respectivement 74.8%, 78.4% et 84% de séances réalisées et une évaluation sur 10 sur l'appréciation à posteriori de 8.1, 8.2 et 8.5. Concernant l'intensité d'effort des programmes AP et APEC, enregistrée grâce à la fréquence cardiaque moyenne lors des séances, le groupe APEC a produit une intensité d'effort significativement inférieure à celle du groupe AP (respectivement 32.2 % et 47.25 %). Les valeurs présentées correspondent à une intensité d'effort modérée pour le groupe AP (i.e., 40 à 70%) et faible (i.e., ≤ 40%) pour le groupe APEC, d'après l'American College of Sports Medicine (ACSM, 2006).

Tableau 1: Résultats des quatre comparaisons planifiées sur les variables exécutives et cardiorespiratoires

Variables exécutives	AP Pré*AP Post			EC Pré*EC Post			APEC Pré*APEC Post			C Pré*C Post	
	t	p ≤	d	t	p ≤	d	t	p ≤	d	t	p ≤
Bref (nombre)	1.76	0.08	0.41	2.48	0.05	0.62	1.9	0.06	0.42	/	ns
Wasi (nombre)	4.99	0.0001	1.17	3.38	0.001	0.84	4.04	0.0001	0.88	/	ns
Stroop : inhibition (nombre)	2.48	0.05	0.58	1.91	0.06	0.47	2.42	0.05	0.53	2.15	0.05 [^]
Stroop : flexibilité (nombre)	/	ns	/	/	ns	/	1.38	0.06	0.30	/	ns
TMT B (sec)	-2.63	0.01	-0.62	-2.83	0.01	-0.71	-4.41	0.0001	-0.96	9.57	0.0001
Digit Span Forward (empan)	2.09	0.05	0.49	3.54	0.001	0.89	2.7	0.01	0.59	/	ns
Digit Span Backward (empan)	1.67	0.09	0.39	1.77	0.08	0.44	3.1	0.001	0.65	/	ns
Séquence lettre chiffre (empan)	3.99	0.0001	0.94	3.44	0.001	0.86	2.31	0.05	0.50	/	ns
Variable cardiorespiratoires											
VO ₂ max	2.64	0.01	0.62	/	/	/	3.94	0.001	0.86	/	/

/ = pas d'effet. d = taille d'effet (Cohen, 1988). [^] = Effet retest du groupe contrôle.

Des ANOVAs à mesures répétées ont été réalisées afin d'observer l'effet intra-groupe des programmes sur les participants en comparant les valeurs pré-tests aux valeurs post-tests des variables. Les quatre groupes ont à chaque fois été inclus dans l'analyse à deux moments de mesures (Pré et Post entraînement). Pour apporter plus de précisions à ces analyses et tester les

différentes hypothèses émises, quatre comparaisons planifiées s'ajoutent à chaque ANOVA, comparant alors les moyennes pré-tests vis-à-vis des moyennes post-tests au sein de chaque groupe (i.e., C, AP, EC et APEC ; tableaux I et II).

Les résultats révèlent que les 3 programmes d'intervention ont engendré plusieurs améliorations significatives entre les pré-tests et les post-tests. Les patterns de résultats supportent deux des cinq hypothèses de départ, à savoir un effet simple de l'entraînement APEC et un effet sur-additif (Figure 19).

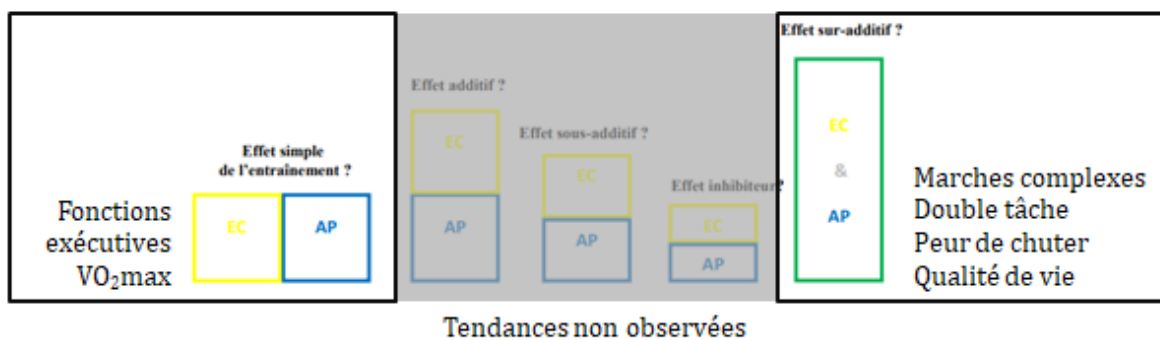


Figure 19 : représentation des résultats obtenus en fonction des 5 hypothèses de départ

Concernant les fonctions exécutives, les effets des trois programmes semblent assez équivalents (5 à 6 fonctions significativement améliorées sur 8 possibles), défendant ainsi un effet simple du programme APEC par rapport aux programmes AP et EC. L'entraînement APEC n'a pas engendré d'effet sur-additif, les deux programmes simples se révélant très efficaces au niveau des fonctions exécutives, à la limite d'un effet plafond. Ces résultats confirment de nombreux travaux qui annoncent que les fonctions exécutives, dépendantes de la zone préfrontale, sont à la fois très affectées par les déficits liés à l'avancée en âge (West, 1996 ; Albinet et al., 2012) mais également très sensibles à l'amélioration lors de stimulations (e.g., Colcombe & Kramer, 2003 ; Etnier & Chang, 2009 ; Hillman, Erickson & Kramer, 2008). Dans deux récentes meta-analyse, Gheysen et collaborateurs (2018) et Zhu et ses collaborateurs (2016) rapportent que les programmes d'intervention combinés montrent généralement des effets plus importants sur la cognition comparés aux programmes d'activité physique, sans montrer d'effets supérieurs aux programmes d'entraînement cognitif seuls, et ce, qu'il s'agisse de personnes âgées avec troubles cognitifs ou non. Ils expliquent en partie ces résultats en montrant que l'effort cognitif pendant un programme simultané combiné est souvent inférieur à l'effort cognitif engendré par un programme cognitif simple. Ainsi, les bienfaits cognitifs des programmes combinés pourraient être sous-estimés, du fait de devoir allouer des ressources cognitives à la tâche motrice

(Boisgontier et al., 2013), et pourraient donc nécessiter plus de temps pour se mettre en place. Les résultats obtenus ici sur les fonctions exécutives confirment en partie ces meta-analyses puisque le programme combiné engendre tout autant de bienfaits que le programme d'entraînement cognitif isolé, mais ne semblent pas s'expliquer par une sous stimulation cognitive, mais davantage par un effet plafond.

Tableau II : Résultats des comparaisons planifiées sur les variables psychologiques et motrices

Variables psychologiques	AP Pré*AP Post			EC Pré*EC Post			APEC Pré*APEC Post			C Pré*C Post	
	t	p ≤	d	t	p ≤	d	t	p ≤	d	t	p ≤
FES	/	ns	/	/	ns	/	-2.32	0.05	-0.51	/	ns
SF36 Santé globale	/	ns	/	/	ns	/	-2.32	0.05	-0.51	/	ns
SF36 Fonctionnement physique	/	ns	/	/	ns	/	2.34	0.05	0.51	-2.88	0.01
SF36 Fonctionnement social	/	ns	/	2.57	0.05	0.64	/	ns	/	-3.49	0.001
SF36 Bien être émotionnel	/	ns	/	/	ns	/	2.33	0.05	0.51	2.21	0.05 [^]
SF36 Vitalité	/	ns	/	/	ns	/	/	ns	/	/	ns
SF36 Douleur	/	ns	/	/	ns	/	3.75	0.001	0.82	/	ns
SF36 Limites physiques	/	ns	/	/	ns	/	/	ns	/	/	ns
SF36 Limites émotionnelles	/	ns	/	/	ns	/	1.76	0.08	0.38	/	ns
Variables motrices											
TUG (sec)	-2.18	0.05	-0.51	/	ns	/	-6.6	0.0001	-1.44	/	ns
Vitesse simple tâche (cm/s)	/	ns	/	/	ns	/	4.95	0.0001	1.08	/	ns
Vitesse DT CM (cm/s)	/	ns	/	/	ns	/	2.05	0.05	0.45	/	ns
Vitesse DT Stroop oral (cm/s)	/	ns	/	2.82	0.01	0.71	2.006	0.05	0.44	/	ns
Vitesse WSC nb (cm/s)	/	ns	/	/	ns	/	3.95	0.001	0.86	/	ns
Vitesse WSC lec (cm/s)	/	ns	/	/	ns	/	/	ns	/	/	ns
Vitesse WSC clr (cm/s)	/	ns	/	/	ns	/	3.51	0.001	0.77	/	ns
Vitesse WTMT N (cm/s)	2.34	0.05	0.55	/	ns	/	3.66	0.001	0.80	/	ns
Vitesse WTMT A (cm/s)	/	ns	/	/	ns	/	2.28	0.05	0.50	/	ns
Vitesse WTMT B (cm/s)	2.21	0.05	0.52	/	ns	/	/	ns	/	/	ns

Note. / = pas d'effet. ^ = Effet retest du groupe contrôle. FES = Fall Efficacy Scale. SF 36= Short Form Health Survey. TUG= Timed up and Go test. WSC nb = Walking Stroop Carpet condition noir et blanc. WSC lec = Walking Stroop Carpet condition lecture. WSC clr = Walking Stroop Carpet condition couleur. WTMT N = Walking Trail Making Test condition Neutre. WTMT A = Walking Trail Making test condition A. WTMT B = Walking Trail Making Test condition B. DT = Double Tâche. CM = Calcul Mental.

D'importantes différences ressortent sur les autres catégories de fonctions. En effet, le groupe APEC a amélioré un plus grand nombre de variables comparativement aux groupes AP et EC dans les domaines moteurs et psychologiques (cf tableau III), défendant un effet sur-additif. Une approche inter-groupe révèle que les scores de progrès du groupe APEC sont souvent significativement différents des scores de progrès du groupe contrôle (i.e., 15 variables), ce qui n'est pas le cas des groupes AP et EC. De plus, les scores de progrès APEC sont significativement plus grands que ceux des groupes AP et EC sur plusieurs tests moteurs. Ces observations nous montrent les effets majorés du programme APEC par rapport aux autres programmes

d'entraînements, notamment sur les situations de marche complexe et de double tâche, qui sollicitent à la fois les dimensions motrice et cognitive. Il semblerait que le programme combiné simultané ait engendré un effet synergique sur ces dimensions.

Tableau III. Récapitulatif des améliorations en fonction de chaque domaine

Tableau récapitulatif	sous total	AP		EC		APEC		C	
		Tests*	Tendances	Tests*	Tendances	Tests*	Tendances	Tests*	Tendances
Variables exécutives	8	5	2	5	2	6	2	1 / -1	0
Variable cardiorespiratoire	1	1	0	0	0	1	0	0	0
Variables psychologiques	9	0	0	1	0	5	1	1 / -2	0
Variables motrices	10	3	0	1	0	8	0	0	0
Total final	28	9	2	7	2	20	3	1 / -3	-1

Tests * = Tests significatifs (i.e., $p \leq 0.05$). Le signe - correspond à une diminution significative.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer les effets majorés du programme APEC sur les situations de double tâche et de marche complexe. Tout d'abord, d'un point de vue neurophysiologique, plusieurs auteurs (principalement à partir de travaux sur l'animal) ont défendu l'hypothèse que la pratique d'activité physique augmenterait le flux sanguin vers le cerveau, et favoriserait la neurogénèse dans l'hippocampe ainsi que la synaptogénèse, et l'angiogénèse, notamment par la synthèse de facteurs neurotrophiques (e.g., BDNF, IGF-1, VEGF) (e.g., Bos et al., 2012 ; Cotman & Berchtold, 2002 ; Lista & Sorrentino, 2010). Ces effets de l'activité physique pourraient faciliter la plasticité cognitive induite par l'entraînement cognitif (Bherer et al., 2020). En effet, parallèlement, l'exercice cognitif guiderait ces nouveaux tissus pour induire une plasticité cérébrale fonctionnelle, autrement dit une plasticité utile pour une situation concrète (pour revue, Bamidis et al., 2014 ; Fissler et al., 2013 ; Figure 20). L'exercice cognitif permettrait donc de transformer cette nouvelle réserve de neurones en capacités cognitives (Kempermann et al., 2010). Ainsi, l'activité physique serait le promoteur de nouvelles structures cérébrales, en permettant la prolifération de cellules neuronales et l'entraînement cognitif permettrait la survie de ces nouveaux neurones, en étant l'initiateur d'une future fonction (e.g., Olson et al., 2006). Cette hypothèse explicative souligne explicitement les effets synergiques de ces deux modérateurs (pour revue, Bamidis et al., 2014 ; Kraft, 2012 ; Schneider & Yvon, 2013). Il semble donc pertinent de chercher à développer ce type de programme auprès de populations cliniques, au regard des résultats obtenus ici sur des personnes âgées atteintes de troubles cognitifs légers. Récemment, Anderson-Hanley et ses collaborateurs ont également observé des bienfaits cognitifs chez des personnes âgées MCI, suite à la pratique d'un programme combiné d'aérobie et d'exercice cognitif (ACES), et défendent l'idée que ces bénéfices seraient dus à une plasticité toujours possible et à une marge de progression

intéressante pour ce public, déjà sujet à de légers déficits cognitifs (Anderson-Hanley et al., 2018). La revue systématique de Gheysen et collaborateurs en 2018 conclut également que les bénéfices des programmes combinés sont équivalents auprès de personnes âgées avec ou sans troubles cognitifs prématurés. Ces résultats encourageants soulignent que « l'état MCI » est un stade crucial avec des opportunités d'intervention sur les déficits cognitifs.

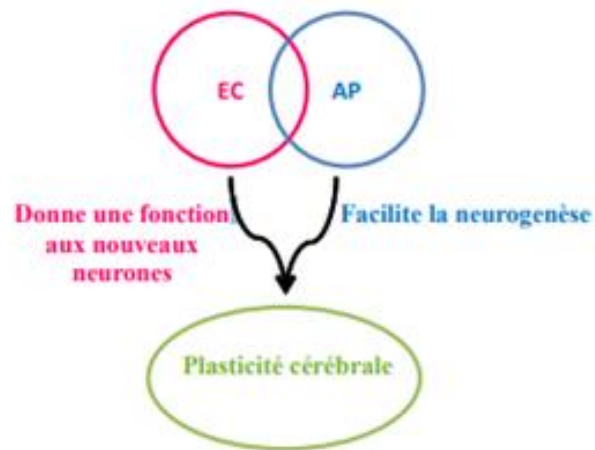


Figure 20 : Figure issue de la thèse de Laure Combourieu (p. 98), représentant l'hypothèse des mécanismes neurophysiologiques des entraînements simultanés (d'après Fissler et al., 2013).

D'autres hypothèses, issues des bienfaits des entraînements en double tâche peuvent s'avérer pertinentes pour expliquer nos résultats, notamment l'effet sur-additif de l'entraînement APEC sur les capacités motrices complexes et de double tâche. L'hypothèse d'intégration de la tâche stipule que pratiquer deux tâches ensemble permet aux participants de développer des compétences de coordination de tâches (Kramer et al., 1995). Cela renvoie également à la notion de coordination de ressources pouvant correspondre à une efficacité améliorée du partage attentionnel entre les tâches cognitives et motrices (i.e., Pichierri et al., 2012 ; Yogev-Seligmann et al., 2012 ; You et al., 2009). Les participants âgés semblent donc réapprendre à partager leurs ressources attentionnelles de manière plus efficace (e.g., Coelho et al., 2013 ; de Andrade et al., 2013 ; Suzuki et al., 2012 ; You et al., 2009). De même, l'entraînement en double tâche pourrait diminuer la mise en place d'une stratégie adaptative engendrée par le déclin des capacités physiques et cognitives lors du vieillissement (e.g., Brown, Sleik, Polych & Gage, 2002 ; Lajoie, Teasdale, Bard & Fleury, 1993 ; Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001), qui consiste à prioriser une tâche par rapport à une autre afin de favoriser un comportement considéré comme plus important que l'autre à un moment donné. L'entraînement en double tâche pourrait aider à diminuer en coût attentionnel les tâches prioritaires motrices, ce qui correspond à automatiser les procédés et diminuer la perte de performance entre les situations en simple et double tâche.

Une autre hypothèse, également issue des bienfaits des entraînements en double tâche peut contribuer à expliquer une partie de l'effet sur-additif de l'entraînement APEC, notamment en termes de transferts sur des tâches non entraînées. De nombreux travaux, ceux notamment dirigés par Bherer, révèlent que les performances en double tâche sont affectées par l'avancée en âge mais également sensibles à l'amélioration lorsqu'elles sont stimulées (e.g., Fraser & Bherer, 2013, Bherer et al., 2005 ; 2006 ; 2008), en observant notamment des améliorations au niveau de la vitesse de processus, du maintien en mémoire de travail de réponses alternatives à la situation et de la synchronisation dans l'exécution des tâches multiples. Il apparaît donc qu'un entraînement en double tâche puisse engendrer des transferts de bénéfices sur des tâches non entraînées mais sollicitant les fonctions améliorées (e.g., Li et al., 2010 ; Lussier, Brouillard & Bherer, 2017). C'est ce que nous avons observé au sein de ce travail de thèse. L'entraînement APEC qui se basait sur une stimulation simultanée des composantes cognitive et physique, a proposé une situation de double tâche cognitivo-motrice, qui a stimulé l'activité dans les régions cérébrales responsables de la réalisation de deux tâches à la fois. Cette activité a pu engendrer une amélioration des capacités de gestion des doubles tâches, qui ont pu se transférer à d'autres situations sollicitant ces mêmes capacités (Desjardins-Crépeau et al., 2016 ; Schaefer & Schumacher, 2011). Montero-Odasso et collaborateurs en 2018 déclarent également qu'un entraînement cognitif en double tâche permet d'améliorer chez les personnes âgées des fonctions cognitives de haut-niveau, par l'intermédiaire de la plasticité cérébrale et d'une augmentation de l'activation cérébrale. Les résultats obtenus sur les tests de marche complexe et de double tâche semblent soutenir ces hypothèses explicatives. Theill et collaborateurs (2013) avaient observé les mêmes tendances, à savoir des améliorations plus importantes grâce à un entraînement simultané sur des doubles tâches de marches cognitives.

Les effets du programme APEC sur les tests de marche s'avèrent importants, car ce sont des tests considérés comme très proches des tâches écologiques (e.g., Kemper, Herman & Lian, 2003 ; Yogev-Seligmann, Hausdorff & Giladi, 2008). Ces tests illustrent les capacités de mobilité des personnes âgées dans leur vie quotidienne. Ainsi, leur amélioration pourrait se répercuter à travers de meilleures réussites sur de nombreuses situations, et être potentiellement plus facilement transférable à des déplacements « in vivo ». D'ailleurs, la peur de chuter, évaluée à travers diverses activités quotidiennes, a été significativement diminuée uniquement dans ce groupe. Les participants du groupe APEC gagneraient donc en confiance dans ces situations complexes qu'ils appréhenderaient moins. Ces gains font l'objet d'un véritable intérêt car ils sont l'illustration de bienfaits concrets, pratiques, et naturels, enjeux espérés de toutes interventions. Les performances en double tâche se sont déjà montrées prédictives de nombreuses situations du quotidien parfois hasardeuses pour les plus âgés comme la conduite automobile ou les déplacements piétons (Bherer et al., 2020). L'entraînement simultané des capacités cognitives et

physiques représente donc un concept d'entraînement prometteur pour améliorer la performance en double tâche cognitive et motrice, offrant un plus grand potentiel sur le fonctionnement de la vie quotidienne, qui implique généralement davantage le recrutement de plusieurs ressources plutôt qu'une seule.

Cependant, il reste plusieurs choses à éclaircir à propos de l'effet synergique du programme APEC. En effet, afin d'observer si les effets des entraînements étaient maintenus six mois après l'arrêt des programmes, des ANOVAs à mesures répétées entre le pré-test et le test à six mois (P6-test) ont été réalisées pour chaque variable et avec les trois groupes d'entraînement. Tout d'abord, ce test de rétention nous indique que les participants du groupe AP semblent avoir gardé le plus longtemps les bénéfices cognitifs (i.e., 5 tests améliorés sur 8 tests évalués) par rapport au groupe EC (i.e., 3 sur 8) et APEC (i.e., 2 sur 8). Ensuite, concernant les bienfaits psychologiques, il semblerait qu'ils n'aient pas résisté aux 6 mois d'arrêt du programme (il ne perdure que 4 tendances pour le groupe APEC). Enfin, plusieurs tests moteurs restent améliorés significativement 6 mois après l'arrêt des programmes, ce pour le groupe APEC (3 effets significatifs et 2 tendances) et pour le groupe AP (2 effets et une tendance). Il semble donc que même si le programme APEC s'est montré le plus efficace pour engendrer les améliorations les plus larges et variées après les douze séances d'intervention, il ne présente pas une évidente supériorité par rapport aux deux autres programmes simples, en termes de rétention. Ce résultat contredit les tendances qui se dégagent de la méta-analyse de Zhu et ses collaborateurs (2016) ainsi que les travaux de Rahe et collaborateurs en 2015, qui avaient constaté un effet résiduel plus important pour leur programme combiné. Cependant, leur étude ne propose pas de groupe contrôle ne réalisant que de l'activité physique, et les auteurs émettent l'hypothèse que cet effet de rétention, un an plus tard, pourrait être dû au maintien d'une pratique physique post programme. Des travaux supplémentaires permettront d'éclaircir ces points d'ombre.

1.4 Conclusion du chapitre I

Les travaux présentés dans ce premier chapitre confirment de larges tendances déjà observées dans la littérature, à savoir des bénéfices de l'activité physique sur la cognition mais également sur plusieurs capacités fonctionnelles des personnes les plus âgées. Ils apportent également quelques précisions concernant ces bienfaits. A travers une approche spontanée, les résultats que nous avons obtenus semblent indiquer qu'une pratique à long terme est nécessaire pour observer des bénéfices significatifs et que des caractéristiques biologiques, sociales et psychologiques permettraient aux femmes d'en tirer davantage profit (Lopez-Fontana et al., 2018). D'un point de vue interventionnel, nos résultats nous orientent vers la pertinence d'une

activité physique enrichie, combinée, pour optimiser les bienfaits, notamment sur les situations les plus complexes (Combourieu et al., 2018).

Même si la preuve scientifique semble aujourd'hui faite sur les bienfaits de l'activité physique face aux effets de l'âge, et que les campagnes de sensibilisation et les recommandations nationales se multiplient¹⁶, pour autant, les seniors ne semblent pas toujours suffisamment sensibles à l'adoption d'un style de vie actif. En effet, malgré les fréquentes recommandations internationales en faveur de la santé et de la pratique de l'activité physique (OMS, 2010), il est démontré que le vieillissement est associé à une augmentation de l'adoption de comportements sédentaires (Slingerland et al., 2007). Au travers de plusieurs études, les seniors reportent une variété de barrières quant à leur engagement dans la pratique régulière d'une activité physique, telles que le manque de temps et de connaissance de la relation activité modérée et santé, la perception de limites corporelles et fonctionnelles, le manque d'énergie, mais aussi un défaut d'accessibilité et d'attractivité des pratiques (Schutzer & Graves, 2004). Le plaisir est un déterminant important qui influence le temps qu'un individu peut allouer à une activité (Dishman et al., 2005). Nous l'avons d'ailleurs constaté lors d'une étude menée avec une étudiante en Master 2 qui s'est intéressée aux motivations et aux raisons de pratiquer qui régissent les comportements des personnes âgées se déclarant actives. Les résultats soulignent l'importance de la dimension plaisir dans la pratique physique régulière des seniors, et d'autant plus à partir de 70 ans (Maillot, Becquard & Perrot, 2018). Ainsi, les activités répétitives, telles que la marche, peuvent mener à l'ennui et à la lassitude, ce qui ne favorise donc pas le plaisir associé, ni l'adhérence à une activité. Par conséquent, au regard des difficultés à modifier les habitudes de vie, l'enjeu actuel des chercheurs et prescripteurs est de parvenir à favoriser l'engagement des seniors vers un style de vie actif en contournant les barrières observées. Les jeux vidéo actifs, appelés exergames, pourraient remplir ce rôle d'amorce vers une activité physique régulière. En effet, cette nouvelle pratique en plein essor fait l'objet d'un réel engouement auprès des seniors. Il apparaît alors pertinent de penser que cette activité possède un véritable potentiel en termes de plaisir véhiculé, d'accessibilité et d'attractivité, et pourrait, par conséquent, favoriser la participation à des activités d'intensité modérée, fortement recommandées dans la lutte contre le vieillissement cognitif. De plus, les caractéristiques des exergames pourraient répondre à la pertinence que nous avons souligné un peu plus haut de proposer des stimulations physiques enrichies et combinées.

Mon second chapitre se centrera donc sur les effets de la pratique des exergames, en abordant cette thématique tout d'abord via les effets des jeux vidéo sédentaires avant d'y ajouter la dimension physique. Beaucoup de discours publics sur les jeux vidéo renvoient aux

¹⁶ Manger, bouger / 30 min d'activité physique modérée par jour / 10 000 pas par jour.

préoccupations associées à l'effet négatif que peuvent avoir ces pratiques sur la vie des joueurs, notamment des plus jeunes (i.e., addiction, agressivité, inactivité physique et sociale). Cependant, la littérature semble mettre en évidence de façon croissante les potentialités des jeux vidéo comme modérateurs des effets de l'âge sur les performances cognitives (e.g., Ballesteros et al., 2015 ; Toril, Reales & Ballesteros, 2014). Le statut des jeux vidéo a évolué et s'est transformé au sein de la société. En effet, le champ d'application ne se restreint plus au seul divertissement, mais davantage à des finalités dites « sérieuses », notamment dans les domaines de la santé et de l'éducation. Ce nouvel engouement à vocation davantage utilitaire est désigné par le terme « Serious Game ».

Chapitre II. Impact des jeux vidéo sur le vieillissement cognitif

Les jeux vidéo représentent aujourd'hui une importante forme de divertissement dans la société, et la participation des seniors à cette activité a énormément augmenté depuis plusieurs années. Ce phénomène récent apparaît encore difficile à quantifier mais en 2019, plus de 71% des français y jouent au moins occasionnellement, dont 55% des plus de 55 ans (qui n'étaient « que » 32,6% en 2010). Face à cette évolution, un nombre croissant d'études se penche sur les effets de la pratique des jeux vidéo sur les fonctions cognitives des personnes âgées, et met en évidence que cette pratique peut engendrer de nombreux bénéfices en faveur du maintien de la vitalité cognitive avec l'avancée en âge (pour revue, Maillot, Perrot & Hartley, 2012a). Ce fort engouement scientifique peut s'illustrer par le journal « Nature » qui, en 2013, place les jeux vidéo en couverture, en titrant « les jeux vidéo améliorent les fonctions cognitives qui déclinent avec l'âge » (Figure 21).

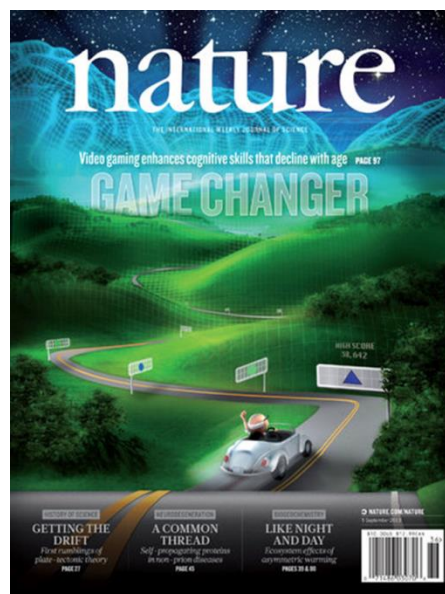


Figure 21 : Couverture du journal « Nature » en septembre 2013.

Au regard des travaux dans ce domaine, deux champs d'application se distinguent, à savoir les jeux vidéo sédentaires, qui n'engendrent pas de dépense physique particulière, et les jeux vidéo actifs, dits « exergames », qui en engendrent une (Besombes & Maillot, 2018). Mes contributions expérimentales seront présentées en distinguant ces deux champs.

II.1 Les jeux vidéo sédentaires

II. 1. 1. Ancrage théorique

Les premières évidences empiriques de l'impact des jeux vidéo sédentaires sur les capacités cognitives des personnes âgées datent des années 1980 (e.g., Clark et al., 1987 ; Drew et Waters, 1986), révélant depuis et jusqu'à ce jour des améliorations non négligeables sur la vitesse de traitement de l'information, les fonctions perceptives, attentionnelles et exécutives (pour revue, Maillot, Perrot & Hartley, 2012a). Plusieurs travaux soulignent même la pertinence particulière des jeux vidéo d'action¹⁷, pour engendrer ces améliorations cognitives (e.g., Bavelier & Green, 2019 ; Bediou et al., 2018 ; Dye, Green & Bavelier, 2009 ; Kuhn et al., 2014 ; Pallavicini, Ferrari & Mantovani, 2018).

Fort de ces résultats, une catégorie de jeux vidéo, centrée sur l'entraînement cérébral se développe fortement à partir des années 2000, attirant particulièrement l'intérêt des personnes âgées (i.e., *Brain Age* ou *Entraînement cérébral du Professeur Kawashima*, de Nintendo). Nintendo choisit d'ailleurs comme égérie télévisuelle de son programme d'entraînement cérébral l'actrice Line Renaud, âgée à l'époque de plus de 80 ans. L'hypothèse selon laquelle la pratique d'un entraînement cognitif assisté par jeux vidéo pourrait limiter les effets de l'âge sur la cognition se voit largement soutenue par les médias et génère la diffusion de nombreux jeux dans le commerce. Pourtant, cette hypothèse n'est appuyée que par des preuves empiriques en demi-teinte. En effet, certains travaux mettent en évidence d'importants bénéfices sur la cognition (Smith et al., 2009 ; Anguera et al., 2013), tandis que d'autres ne suggèrent que de très faibles effets de transferts (Ackerman, Kanfer & Calderwood, 2010, Mayas et al., 2014). Quand on y regarde de plus près, les jeux engendrant les bénéfices les plus faibles sont davantage des jeux issus du commerce, destinés au grand public (*Big Brain Academy*, Ackerman, et al., 2010 ; *Lumosity*, Mayas et al., 2014) alors que ceux engendrant des bénéfices plus profonds sont plus fréquemment issus de travaux de recherche, élaborés dans un objectif thérapeutique, avec une disponibilité limitée (e.g., *Neuroracer*, Anguera et al., 2013 ; *Positscience*, Smith et al., 2009).

A l'heure actuelle, j'ai décidé d'orienter mes travaux de recherche sur les jeux vidéo disponibles pour le grand public, et ce, pour plusieurs raisons. L'impact social de ces jeux est démesuré et mérite d'être approfondi scientifiquement. En 2010, lorsque la dernière version du jeu d'action *Call of Duty* est sortie, il s'est joué en 1 mois l'équivalent de 600 millions d'heures, soit 68 000 années. Alors bien sûr, les seniors ne sont pas les principaux joueurs de ce jeu d'action mais pour

¹⁷ Les jeux vidéo d'action sont fondés sur des interactions en temps réel qui font essentiellement appel à l'habileté et aux réflexes du joueur. Ce type de jeu offre un environnement riche et variable. Il est de loin le genre de jeu vidéo le plus représenté dans le commerce.

autant, comme annoncé dans l'introduction, ils se tournent de plus en plus vers ce type de loisir, accessible à tous. Les jeux vidéo tout public dans le commerce sont faciles à trouver et accessibles financièrement mais surtout ils proposent un gameplay¹⁸, des graphismes et un flow¹⁹ de haute qualité. Ces jeux ont des budgets de développement chiffrés à plusieurs millions d'euros quand ceux du monde thérapeutique restent encore trop épurés et limités. La littérature ne possède cependant que peu de recul sur les jeux que les personnes âgées devraient prioriser, dans un souci d'optimisation de leurs fonctions cognitives. Les jeux d'entraînement cérébraux sont-ils à favoriser par rapport aux jeux plus classiques, comme les jeux d'action, aucunement créés dans cet objectif de santé ? Une comparaison indirecte des effets des jeux d'entraînement cérébraux du commerce et des jeux plus classiques laisse à penser que la supériorité des jeux d'entraînement cérébraux ne serait pas du tout évidente. Une des seules études permettant une comparaison directe a été menée par Nouchi et ses collaborateurs (2012). Nouchi a alors comparé les effets de la pratique du jeu *Brain Age* (entraînement cérébral) avec la pratique du jeu *Tetris* (jeu vidéo classique) sur les capacités cognitives de joueurs âgés. Les participants des deux groupes jouaient 15 minutes par jour, au moins 5 fois par semaine, pendant 4 semaines. Les résultats montrent que les participants du groupe d'entraînement cérébral ont amélioré leurs fonctions exécutives et leur vitesse de processus, mais pas leur attention ni leur statut cognitif général. Il convient alors d'apporter une contribution expérimentale à ce champ de recherche encore trop peu développé.

II. 1. 2. Contributions expérimentales

Ma contribution expérimentale dans le domaine des jeux vidéo sédentaires a consisté, à ce jour, à développer un protocole permettant d'examiner l'impact de la nature des jeux vidéo pratiqués sur le fonctionnement cognitif des personnes âgées. Compte-tenu de la littérature et des jeux vidéo les plus utilisés, nous avons comparé la pratique d'un jeu vidéo d'action parmi les plus vendus au monde, à savoir *Super Mario Bros* avec la pratique d'un jeu d'entraînement cérébral *Entraînement du Professeur Kawashima* (Perrot, Maillot & Hartley, 2019b). Ces deux types de jeu présentent des gameplay très différents. *L'entraînement du professeur Kawashima* est vendu pour améliorer les fonctions cognitives, particulièrement pour les personnes âgées, en

¹⁸ Le gameplay signifie « jouabilité » du jeu. Selon Goetzmann et Zuppinger (2016), « le gameplay est l'articulation entre le game, les structures et règles de jeu, et le play, la façon dont le joueur s'approprié les possibilités du jeu en mettant au point ses propres stratégies, pour répondre aux contraintes que les règles "constitutives" du jeu lui imposent.

¹⁹ Le concept de "flow" est un état de concentration, de dévouement et d'immersion maximum dans une activité. L'état de flow dans un jeu vidéo est le point d'équilibre entre le défi et la capacité. Les caractéristiques de cet état sont la transformation de la perception du temps et la perte de conscience de soi (Csikszentmihályi, 1990).

proposant des jeux courts, inspirés pour la plupart de tests psychométriques, et centrés sur une fonction cognitive à la fois (e.g., inhibition, mémoire à court terme, vitesse de réaction). *Super Mario Bros* est un jeu d'action dans lequel les joueurs doivent déplacer un petit personnage en courant ou en sautant sur des plateformes, des rebords, des escaliers ou d'autres objets, à travers un écran fixe. Ce type de jeu sollicite simultanément plusieurs fonctions cognitives comme la prise de décision rapide, l'attention visuelle, ou encore la sélection stratégique. La nature bien distincte de ces gameplay semble pertinente à étudier afin de mieux comprendre l'impact des jeux vidéo sur les fonctions cognitives. L'étude a impliqué 35 participants âgés entre 60 et 72 ans, en bonne santé, non pratiquant régulier des jeux vidéo, répartis en trois groupes i) le groupe *Super Mario Bros* (12 participants), ii) le groupe *Kawashima* (12 participants), et iii) le groupe contrôle (11 participants). Tous les participants ont été évalués en pré tests sur plusieurs fonctions cognitives sensibles à l'avancée en âge et/ou à la pratique des jeux vidéo, à savoir les fonctions exécutives (flexibilité attentionnelle, inhibition et raisonnement), la vitesse de processus, et les fonctions visuospatiales. Ensuite, les participants des deux groupes actifs jouaient sur un rythme de 3 séances d'une heure par semaine pendant 8 semaines, afin de totaliser 24 heures de pratique. Enfin, les mêmes tests cognitifs étaient passés en post-tests.

Tableau IV : Scores de progrès, ANOVAs et tests post-hoc de Tukey sur les fonctions cognitives évaluées pour chacun des trois groupes.

Tests	Control		SMB		KBT		F(2,32)	p	Tukey Post hoc			
	M	SD	M	SD	M	SD			KBT>C	SMB>C	SMB>KBT	KBT>SMB
Trail Making Test Part B - Part A (sec)	0.36	4.41	-1.15	15.09	2.86	17.20	0.26	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
Stroop: Incongruent (Number)	0.91	3.81	2.75	4.85	9.25	6.30	8.56	<.01	<.01	n.s	n.s	<.05
Matrix Reasoning Test (Number)	-1.91	1.58	3.42	4.03	2.08	4.50	6.54	<.01	<.05	<.05	n.s	n.s
Digit-Symbol Substitution (Number)	-1.55	2.77	7.25	8.19	3.75	7.45	5.03	<.05	n.s	<.01	n.s	n.s
Corsi Block Test (Number)	-0.09	0.83	0.75	0.75	0.67	0.89	3.56	<.05	n.s	=.05	n.s	n.s
Spatial Relations (Number)	-1.09	2.21	1.83	2.55	-0.83	3.49	3.89	<.05	n.s	<.05	=.06	n.s
Number Comparison (Number)	-1.73	2.49	2.25	5.24	0.42	2.71	3.26	<.05	n.s	<.05	n.s	n.s

Note. M = Mean. SD = Standard Deviation. KBT>C = Kawashima Brain Training progress are superior to group control progress SMB>C = Super Mario Bros progress are superior to group control progress SMB>KBT = Super Mario Bros progress are superior to Kawashima Brain Training progress KBT>SMB = Kawashima Brain Training progress are superior to Super Mario Bros progress. SMB: Super Mario Bros group, KBT: Kawashima Brain Training group.

Les résultats révèlent que les bénéfices sont plus conséquents pour le programme *Super Mario Bros* que pour le programme *Kawashima* (Tableau IV). En effet, le programme *Kawashima* engendre des bénéfices uniquement sur une catégorie de fonctions (fonctions exécutives), alors que le programme *Super Mario Bros* en engendre sur les trois catégories. En fonction de la nature des jeux, les bénéfices des programmes ne se transfèrent pas de la même façon vers les fonctions cognitives. Le transfert engendré par le jeu d'entraînement cérébral semble référé à un

transfert proche (ou intra-tâche) correspondant à un transfert d'ordre spécifique, qualifié par une distance proximale entre la tâche d'origine et la tâche de transfert (Barnett & Ceci, 2002 ; Schmidt, 1988). En effet, sur les deux fonctions cognitives significativement améliorées (i.e., raisonnement inductif et inhibition), l'une d'elles (i.e., l'inhibition) est directement entraînée par un jeu proposé dans le programme *Kawashima*, reprenant le même mécanisme que celui du pré-test, à savoir le test psychométrique de Stroop (1935). En revanche, les transferts engendrés par la pratique du programme *Super Mario Bros* semblent être éloignés ou inter-tâche, qualifiés par un écart distal entre la tâche d'apprentissage (ici le jeu *Super Mario Bros*) et la tâche de transfert (ici les post tests) (Barnett & Ceci, 2002). En effet, aucune des situations expérimentales mises en place à travers les tests psychométriques utilisés pour évaluer en pré et post tests les fonctions cognitives n'est reprise directement lors du programme de jeu *Super Mario Bros*. Nous expliquons ces différences de transfert par les caractéristiques intrinsèques de chaque jeu. Le jeu *Super Mario Bros* propose un environnement riche et stimulant, hautement variable, sollicitant une forte flexibilité parmi un large panel de tâches. D'après Green et Bavelier (2008), ces caractéristiques pourraient être en partie responsables des améliorations cognitives. Les jeux vidéo d'action peuvent être extrêmement complexes et sollicitent de nombreux processus en parallèle. Les joueurs sont confrontés simultanément à des défis en termes de rapidité, de précision, de raisonnement et de stratégie. Green et Bavelier (2008) suggèrent que plus un programme fait appel à une variété de combinaisons de processus, plus le transfert observé vers les fonctions cognitives est important. Inversement, le programme *d'entraînement cérébral du professeur Kawashima* est proposé dans un environnement majoritairement mono-tâche. L'entraînement est découpé en sous domaines, avec une fonction cognitive principale visée et isolée par chaque mini-jeu (e.g., inhibition séparée de la vitesse de traitement de l'information). Ce type de programme conduit à un transfert proche vers des tâches étroitement liées (comme l'inhibition) mais très peu de transferts éloignés vers des tâches différentes (Ahissar & Hochstein, 2004). De plus, les situations de jeu ne sont pas caractérisées par une grande variabilité ni une alternance entre les tâches, ce qui permet également d'expliquer la faiblesse des transferts constatés (Gomez, 2002).

Les résultats observés peuvent également faire écho aux travaux de Fissler et collaborateurs en 2013, sur la différence d'impact sur la cognition entre les entraînements cognitifs centrés sur un processus en particulier (i.e., « *Process-based cognitive training* ») et les « nouvelles interventions » (i.e., « *novelty interventions* ») comme les jeux vidéo ou les jeux de cartes. Ces dernières interventions, dont le jeu Mario Bros s'approcherait, seraient non spécifiques, proposant une haute variabilité et donc un transfert plus important sur des tâches non entraînées. Inversement, les entraînements cognitifs ciblés sur un processus, plus proches du jeu

Kawashima, engendreraient moins de variabilité et des transferts plus proches et spécifiques à une fonction cognitive (Figure 22).

Un dernier argument que nous avançons pour expliquer ces résultats réside dans l'attractivité des jeux (e.g., Graves et al., 2010). L'environnement scientifique proposé par le programme *d'entraînement cérébral du professeur Kawashima* (e.g., programme porté par un scientifique en blouse blanche, extrait d'imagerie par résonance magnétique, explication scientifique entre les jeux, notion d'âge cérébral) réduit probablement l'attractivité et l'esprit même du jeu. Les joueurs ont l'impression de s'entraîner alors que ceux qui réalisent le programme *Super Mario Bros* ont tout simplement la sensation de jouer. Cette distinction entre entraînement et jeu pourrait donc également expliquer une partie des résultats observés.

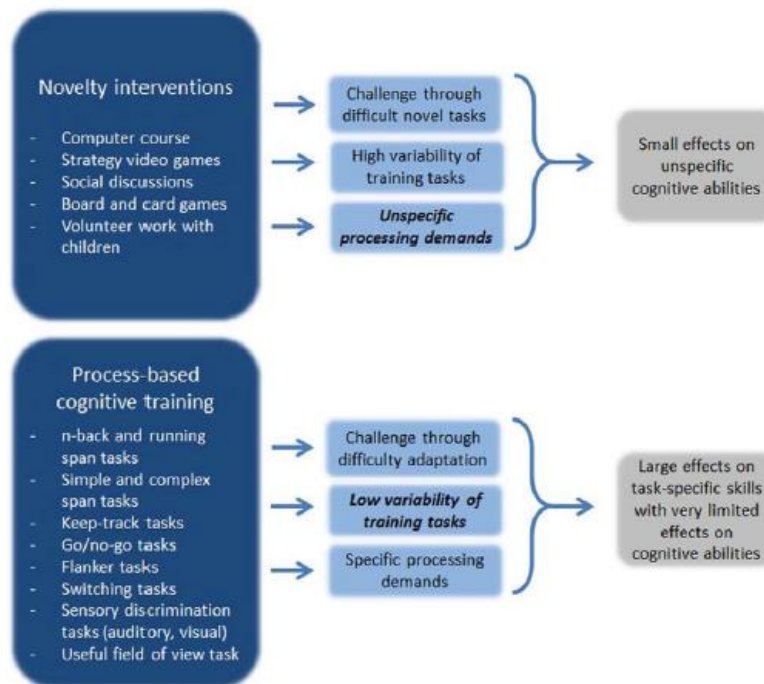


Figure 22 : Approches des interventions cognitives traditionnelles, d'après Fissler et al., 2013 (p.407)

Les résultats de cette étude sur les jeux vidéo sédentaires mettent en lumière l'importance de la nature du jeu et des sollicitations engendrées. Les caractéristiques des jeux d'action semblent intéressantes. Un projet parallèle exploratoire, avec une étudiante de Master 2 VHMA a d'ailleurs approfondi l'impact bénéfique de ces jeux d'action sur un public d'adultes dyslexiques (6 participants) en comparaison avec des adultes sans troubles (8 participants). Le protocole interventionnel était semblable à celui présenté ci-dessus, si ce n'est qu'il ne proposait que le

programme *Super Mario Bros* (6 participants). Les résultats révèlent pour les adultes dyslexiques des améliorations significatives (à partir de statistiques non paramétriques) sur plusieurs fonctions cognitives, à savoir la flexibilité attentionnelle, l'inhibition, la mémoire à court terme visuo-spatiale et verbale et la vitesse de processus. Les bénéfices sont un peu moins marqués pour le groupe d'adultes sans troubles (améliorations significatives sur la flexibilité attentionnelle, l'inhibition et la vitesse de processus). Ces résultats, laissant présager que les effets des jeux d'action pourraient être plus importants sur des publics souffrant de déficits cognitifs (i.e. les personnes âgées et les adultes dyslexiques) mériteraient d'être approfondis.

Même si les jeux vidéo génèrent une activation cérébrale, cette pratique demeure une activité sédentaire, où aucune dépense énergétique n'est particulièrement engagée. Les jeux vidéo sédentaires ne participent pas au maintien ou à l'amélioration de la santé cardiorespiratoire et pourraient même renforcer les comportements sédentaires. Or, il a été démontré que la sédentarité est associée à une augmentation des risques de maladies (e.g., cardiovasculaires, diabète, cancer) et à des déclin physiques et cognitifs (Colcombe & Kramer, 2003 ; Yaffe, Barnes, Nevitt, Lui & Covinsky, 2001). De plus, il a déjà été souligné que les bienfaits cognitifs engendrés par la pratique des jeux vidéo sédentaires seraient de moindre importance que ceux engendré par la pratique de l'activité physique (e.g., Dustman, et al., 1984 ; 1992). La littérature actuelle insiste sur l'importance de cette activité physique sur le fonctionnement cognitif lors de l'avancée en âge, en tant que modérateurs des déclin cognitifs (e.g., Eggemont et al., 2009). Pour autant, même si une prise de conscience existe, les personnes âgées ne s'investissent pas encore suffisamment dans un style de vie actif. En 2015, entre 65 et 79 ans, ils sont encore près de 38 % à ne pratiquer l'activité physique qu'à un faible niveau (Praznocy, Lambert & Pascal, 2017). En plus de cette inactivité physique, les personnes âgées adoptent également de plus en plus de comportements sédentaires en avançant en âge.

Face à ces constats, aux recommandations internationales incitant à limiter un style de vie trop sédentaire, et au récent engouement des seniors pour la pratique des jeux vidéo, un nouveau style de jeu vidéo nous est apparu alors intéressant à explorer, à savoir les exergames. Ce néologisme, composé des termes « exercise » et « game », désigne l'ensemble des jeux vidéo combinant une stimulation physique avec un environnement simulé et interactif (Anderson-Hanley et al., 2012). Cette pratique ne se traduit plus par l'utilisation de clavier, souris et joystick mais par différentes interfaces telles que ergocycle, tapis de danse, plateforme de force et de pressions, capteurs de mouvement, caméra, permettant aux joueurs de contrôler le jeu par leurs actions (Sinclair, Hingston & Masek, 2007). L'engouement pour les exergames commence

véritablement en 2006, avec la Nintendo « Wii », qui fut la première console équipée d'un accéléromètre capable de détecter la position, l'orientation et les mouvements dans l'espace de la manette.

II.2. Les exergames

II. 2. 1. Ancrage théorique

Si aujourd'hui, les travaux mêlant vieillissement, cognition et exergames sont plus courants (e.g., Adcock-Omlin et al., 2019 ; Wang et al., 2019, pour revue, Stojan & Voelcker-Rehage, 2019), dix ans plus tôt, au moment des premiers questionnements de mes collaborateurs et de moi-même sur l'impact cognitif d'une telle pratique, aucune recherche n'avait encore été publiée. Ce questionnement prend naissance suite à une conversation avec une étudiante de master 2 filière APA-S, qui, pendant son stage, faisait jouer à la wii les résidents d'un EHPAD. Elle me rapportait alors un entrain inenvisageable des personnes âgées pour cette pratique (Figure 23). De là, est né un projet de thèse sur les effets cognitifs de cette nouvelle stimulation. La littérature issue du champ de l'activité physique (cf. chapitre I) mais également celle issue du champ des jeux vidéo (cf. chapitre II) nous a laissé présager que plusieurs caractéristiques intrinsèques des exergames pourraient être déterminantes pour lutter contre les déclin cognitifs.



Figure 23 : Exemple d'un article de presse locale, datant de 2009, relatant le nouvel entrain des personnes âgées pour la pratique de la Wii.

Dans un premier temps, la pertinence des premiers exergames s'est révélée en termes d'attractivité et d'accessibilité (Sinclair et al., 2007). En effet, les tous premiers travaux scientifiques sont menés suite au constat d'une large adhésion de résidents de maison de retraite vis-à-vis de la pratique de la wii, afin d'essayer de mieux comprendre pourquoi cette pratique attirait autant les seniors et si elle était bien préconisable. Brox et ses collaborateurs (2011) sont les premiers à souligner les caractéristiques de ce nouveau loisir qui pourraient expliquer son succès auprès des personnes âgées, à savoir tout d'abord, les techniques de persuasion mises en place pour donner envie de pratiquer régulièrement (e.g., personnalisation de l'avatar, mise en scène des feedbacks et des progrès). Ensuite, l'aspect social des situations proposées génère également de l'attractivité. La Wii est perçue comme fun et sociale. Plusieurs travaux révèlent à ce propos que les joueurs s'investissent davantage quand d'autres joueurs jouent en même temps ou bien quand ils sont observés (Mueller, O'Brien & Thorogood, 2007 ; Roberts, Spink & Pemberton, 1999).

Ensuite, la pertinence des exergames a été renforcée par l'approche combinée que cette pratique engendre. Tout d'abord, en termes de sollicitation physique, certaines études relèvent que la pratique des exergames peut générer une fréquence et une intensité de pratique équivalentes voir plus importantes comparées à une activité physique plus traditionnelle (e.g., Annesi & Mazas, 1997). Une majorité de jeux en exergame permet l'accès à des exercices à la fois aérobie, d'équilibre, de souplesse et de renforcement musculaire (ce qui représente d'après la méta-analyse de Colcombe et Kramer en 2003, la recette idéale pour engendrer des améliorations cognitives), et pourraient se présenter comme une alternative aux exercices plus conventionnels, en proposant un nouveau moyen d'adoption d'un style de vie physiquement actif. Ensuite, les exergames permettent également une sollicitation cognitive, par les situations de jeux vidéo et d'immersion qu'ils proposent, rivalisant avec les effets des programmes d'entraînement cognitif plus classiques (e.g., Balestros et al., 2015 ; Toril, Reales & Balestros, 2014). Il est donc envisageable d'observer les effets synergiques d'un entraînement combiné en double tâche cognitivo-motrice (e.g., Stojan & Voelcker-Rehage, 2019).

Enfin, d'autres arguments nous ont incités à penser que plusieurs caractéristiques intrinsèques des exergames seraient également déterminantes pour atténuer les déclinis cognitifs liés à l'âge. Tout d'abord, d'un point de vue neurobiologique, pratiquer un jeu vidéo augmenterait la libération de la dopamine (Koepp et al., 1998), ce qui pourrait jouer un rôle anticipateur et appétitif dans la phase de motivation des comportements humains (Koepp et al., 1998) et facilitateur lors de l'apprentissage (Garraux, Peigneux, Carson & Hallet, 2007). Dans le cadre des exergames, il apparaît que le rôle de la dopamine pourrait être double, étant donné que l'une des hypothèses explicatives envisagées des effets de l'activité physique repose sur l'augmentation

des catécholamines cérébrales. En effet, il est considéré que l'activité aérobie peut induire une libération cérébrale de catécholamines, entraînant avec le temps une modification du taux d'occupation des récepteurs dopaminergiques dans différentes aires cérébrales (i.e., cortex préfrontal et striatum) (e.g., Churchill et al., 2002). Ainsi, les exergames pourraient modérer les effets de l'âge sur la cognition de par la libération de la dopamine engendrée par le plaisir perçu de la réussite au jeu et par la stimulation physique. D'autres travaux (Basak et al., 2008 ; Basak, Voss, Erickson, Boot & Kramer, 2011 ; Erickson et al., 2010) avancent que la pratique des jeux vidéo pourrait augmenter le volume de matière grise de plusieurs régions cérébrales, notamment celles qui régissent les fonctions exécutives.

D'autres caractéristiques intrinsèques des jeux vidéo pourraient être responsables d'améliorations cognitives (e.g., Green & Bavelier, 2008). Tout d'abord, plusieurs travaux ont déjà apporté la preuve que les qualités interactives des jeux vidéo se montrent non seulement importantes au niveau motivationnel, mais aussi au niveau du transfert vers les fonctions cognitives. Les individus apprennent mieux lorsqu'ils sont activement engagés dans une tâche plutôt que lorsqu'ils sont observateurs passifs. Ainsi, comme le mentionnent Green et Bavelier (2008), bien souvent les tâches d'entraînement, notamment en laboratoire, peuvent être ennuyeuses et déplaisantes au contraire des exercices proposés par les jeux vidéo. En effet, il apparaît que les programmes d'entraînement par jeux vidéo, d'ordre cognitif ou physique, sont perçus comme très attractifs et motivants, favorisant ainsi l'apprentissage et le transfert vers les fonctions cognitives (Ackerman et al., 2010 ; Graves et al., 2010). La présence d'une rétroaction (i.e., feedback), c'est-à-dire d'un apprentissage par renforcement, associée à la possibilité d'augmenter progressivement le niveau de difficulté pendant l'entraînement, favoriseraient également un bon niveau d'éveil et de motivation permettant ainsi un apprentissage plus important, ainsi que des transferts plus conséquents vers les fonctions cognitives (Ahissar & Hochstein, 2004, Herzog & Fahle, 1997). La dernière caractéristique qui nous a incités à mettre en place un programme d'exergames concerne l'importante variabilité engendrée par les jeux vidéo (Basak et al., 2008). En effet, certains auteurs affirment que les apprentissages et les transferts chez les personnes âgées sont amplifiés par l'intermédiaire d'une large diversité dans les tâches d'entraînement et dans les types d'interaction proposés (e.g., Bherer et al., 2005 ; Kramer, Larish & Strayer, 1995 ; Kramer et al., 1999 ; Schmidt & Bjork, 1992). Cette hypothèse suggère que les bénéfices vers les fonctions cognitives sont d'autant plus importants qu'un programme d'entraînement est associé à une variété de combinaisons de processus impliqués (e.g., Green & Bavelier, 2008 ; Stuss et al., 2007). Plusieurs études soutiennent cette hypothèse (e.g., Brady & Kersten, 2003), et notamment celle de Nouchi et al. (2012) qui met en évidence des améliorations cognitives (i.e., fonctions exécutives) uniquement en faveur d'un groupe entraîné à huit tâches de jeu (i.e., Brain Age) contre un groupe mono tâche (i.e., Tétris).

L'ensemble des arguments théoriques présentés dans cette partie (i.e., effets synergiques, libération de la dopamine, volume cérébral, motivation, feedbacks, niveau progressif de difficulté, variabilité) ancre et justifie les contributions expérimentales que nous avons menées avec plusieurs collaborateurs dans le domaine des exergames et du vieillissement cognitif.

II. 2. 2. Contributions expérimentales

Mes contributions expérimentales dans le domaine des exergames sont d'abord issues des travaux de thèse de Pauline maillot, ainsi que du travail de trois étudiantes de Master 2, Agnès Lefoulon, Alizée Denis et Nabila Djehbari. Nous verrons que ces contributions perpétuent mon intérêt pour la cognition des personnes âgées mais qu'elles s'ouvrent également vers d'autres paramètres complémentaires et pertinents dans l'étude des effets de l'âge, à savoir les facteurs liés à la chute et le vieillissement précoce de personnes atteintes de trisomie 21.

II. 2. 2. 1. Impact de la pratique des exergames sur la cognition des personnes âgées

L'objectif de cette étude était de déterminer si la pratique des exergames engendrait des bénéfices cognitifs chez les personnes âgées. Pour cela, nous avons développé une étude d'intervention comparant un groupe pratiquant un programme de jeux sur la console Nintendo Wii (wii sports, Wii Fit et Mario & Sonic aux jeux olympiques, dont 4 tâches références réalisées lors de chaque séance avec une prise de performance, à savoir une tâche cognitive, une tâche d'équilibre, une tâche d'endurance et une tâche globale) avec un groupe non pratiquant. La littérature sur les effets de l'activité physique sur la cognition des personnes âgées nous incite à tester l'impact des exergames sur les fonctions exécutives (Colcombe & Kramer, 2003 ; Kramer et al., 1999). Celle sur les jeux vidéo justifie l'évaluation des fonctions visuo-spatiales (e.g., Green & Bavelier, 2003 ; 2006) et de la vitesse de processus (e.g., Clark, Lanphear & Riddick, 1987 ; Drew & Waters, 1986 ; Dustman et al., 1992). Les deux groupes de sujets (expérimental ou contrôle) étaient composés au final de quinze personnes âgées entre 65 et 78 ans, et étaient homogènes au niveau de la moyenne d'âge (73,47 ans), du score de dépression (sujets non dépressifs), du Mini Mental State Examination (MMSE > 27), du niveau d'activité physique (moins d'une heure par semaine) et de la santé subjective (>3 sur une échelle en 5 points). Tous les sujets étaient testés en pré tests et en post tests sur une batterie de tests physiques et cognitifs. Les tests physiques étaient issus du Senior Fitness Test (SFT, Rikli & Jones, 2001), qui évalue la souplesse, la force musculaire, l'endurance et l'équilibre. Comme indiqué précédemment, les tests cognitifs évaluaient les fonctions exécutives et visuo-spatiales ainsi que la vitesse de processus. Les participants du groupe expérimental pratiquaient 2 séances d'1h de jeux sur la wii pendant 12 semaines, pour un total de 24h de pratique. Les personnes du groupe contrôle s'engageaient à ne pas changer leur style de vie pendant cette même période.

Les premiers résultats intéressants concernent l'attractivité et l'accessibilité du programme d'exergames. L'adhésion est très haute avec un taux à 97,50%, tous les participants souhaitant poursuivre le programme après la dernière séance. L'accessibilité, jugée bonne par 80% des pratiquants, est également confirmée par le constat que les participants s'améliorent significativement au fur et à mesure de l'entraînement sur toutes les tâches références que nous avons mis en place [*tâche d'équilibre*, $F(23, 207) = 10.79$, $p < .001$, $\eta^2 = .55$, *tâche cognitive*, $F(23, 207) = 14.18$, $p < .001$, $\eta^2 = .61$, *tâche d'endurance aérobie*, $F(23, 115) = 2.75$, $p < .001$, $\eta^2 = .35$, et *tâche globale*, $F(23, 207) = 5.76$, $p < .001$, $\eta^2 = .39$]. Ces résultats soulignent donc que ce nouveau type de loisir est accessible et attractif pour un public sédentaire novice et âgé. Ainsi, les jeux vidéo actifs pourraient se présenter comme une alternative divertissante spontanée à l'activité physique conventionnelle parfois perçue comme ennuyante et non accessible (e.g., Hughes, Seymour, Campbell, Whitelaw & Bazzarre, 2009 ; Schutzer & Graves, 2004).

Tableau V. Comparaison des performances obtenues par les groupes entraîné et contrôle sur les mesures physiques : analyse des changements de score en prétest-posttest

	Contrôle		Entraîné		<i>t</i>	<i>p</i>	η^2
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>			
Mesures physiques							0.693
FC maximal TM6 (bpm)	-4.07	10.15	10.50	15.92	-2.960	0.003	0.227
FC moyenne TM6 (bpm)	-3.80	11.62	7.43	13.52	-2.404	0.012	0.169
Chair stands (nombre cycle)	-1.07	1.94	2.73	2.28	-4.908	< 0.001	0.528
Arm curls (nombre cycle)	0.00	2.73	3.00	2.70	-3.029	0.003	0.262
TM6 (m)	3.07	26.54	58.05	40.45	-4.402	< 0.001	0.408
8-foot Up-and-Go (sec)	0.48	1.05	-0.94	0.62	4.531	< 0.001	0.424
Chair-sit-and-reach "jambe droite" (cm)	2.00	5.80	-2.78	6.20	2.182	0.019	0.130
Chair-sit-and-reach "jambe gauche" (cm)	2.10	6.88	-2.22	6.27	1.796	0.042	0.107
Back Scratch "bras droit" (cm)	-3.85	10.35	-0.50	5.33	-1.115	0.137	0.051
Back Scratch "bras gauche" (cm)	-9.40	18.04	0.25	3.90	-2.025	0.026	0.017

En ce qui concerne l'impact du programme sur les fonctions cognitives et physiques, les résultats révèlent une différence significative entre les progrès du groupe expérimental et les progrès du groupe contrôle, et ce, sur de nombreux tests. La première série d'analyses porte sur les performances physiques (tableau V) qui apparaissent comme significativement plus importantes pour le groupe entraîné, comparées au changement de score du groupe contrôle (Wilk's $\Lambda = .31$, $F(10, 18) = 4.06$, $p = .005$, $\eta^2 = .693$). Les analyses test par test révèlent des améliorations significatives en faveur du groupe entraîné sur toutes les mesures physiques,

excepté les mesures de flexibilité évaluées par le Back-Scratch “bras droit (souplesse haut du corps).

La seconde série d’analyses porte sur les mesures cognitives, décrites dans le tableau VI. Pour le fonctionnement exécutif, les changements de score entre le prétest-posttest sont significativement plus importants pour le groupe entraîné que pour le groupe contrôle (Wilk’s $\Lambda = .19$, $F(6, 23) = 15.79$, $p < .001$, $\eta^2 = .805$), et les analyses test par test révèlent des améliorations significatives sur chacune des 6 mesures suite à l’entraînement.

Tableau VI. Comparaison des performances obtenues par les groupes entraîne et contrôle sur les mesures cognitives : analyse des changements de score en pretest-posttest

	Contrôle		Entraîné		<i>t</i>	<i>p</i>	η^2
	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>			
Fonctions exécutives							0.805
Trail Making Test B - A (sec)	3.70	28.54	-15.42	20.27	-2.12	0.04	0.138
Stroop : Inhibition (Nombre)	0.60	4.05	9.13	8.80	-3.412	0.001	0.294
Stroop : Flexibilité (Nombre)	0.27	4.68	8.27	5.73	-4.189	< 0.001	0.385
Letter Sets (Nombre)	0.07	1.03	1.87	1.85	-3.30	0.002	0.279
Matrix Reasoning Test (Nombre)	-0.53	3.02	4.20	1.21	-5.636	< 0.001	0.531
Digit-Symbol Substitution (Nombre)	0.20	5.65	9.07	7.97	-3.516	0.001	0.306
Fonctions visuospatiales							-
Spatial Span (Nombre)	-0.27	1.28	0.33	1.40	-1.226	0.115	-
Backwards Spatial Span (Nombre)	0.27	0.96	0.07	1.67	0.402	0.345	-
Directional Headings (Nombre)	-0.67	3.22	2.13	3.68	-2.217	0.017	-
Mental Rotation (Nombre)	-0.20	2.35	0.40	2.17	-.726	0.237	-
Vitesse perceptive							0.788
Cancellation (Nombre)	-2.53	6.56	10.00	6.09	-5.423	< .001	0.512
Number Comparison (Nombre)	-0.73	2.02	2.87	2.72	-4.116	< .001	0.377
Vitesse psychomotrice							
Temps de Mouvement : TRS (ms)	21.59	64.55	-38.55	74.36	2.365	.025	0.166
Temps de Mouvement : TRC (ms)	21.84	57.16	-42.75	67.24	2.835	.008	0.223
Temps de Décision : TRS (ms)	30.98	92.77	-103.07	92.57	3.962	< .001	0.359
Temps de Décision : TRC (ms)	-16.26	81.74	-104.15	74.28	3.082	.005	0.253
Tapping (Bras droit)	-0.53	3.75	7.00	6.81	-3.755	.001	0.335
Tapping (Bras gauche)	-0.80	3.37	5.10	6.03	-3.306	.003	0.281

Note. *M* = Moyenne. *ET* = Ecart Type. η^2 = taille d’effet (Cohen, 1988). Pour les tests avec un temps mesuré, une moyenne négative correspond à une amélioration entre le prétest et le posttest. Pour les tests avec un score (indiqué par un nombre), une moyenne positive correspond à une amélioration entre le prétest et le posttest. Toutes les valeurs *p* inférieures au seuil de significativité $p = .05$ restent significatives après la correction de Holm-Bonferroni.

Concernant les fonctions visuo-spatiales, les différences de changements de score entre le groupe entraîné et le groupe contrôle ne sont pas significatives (Wilk's $\Lambda = .77$, $F(4, 25) = 1.87$, $p = n.s.$, $\eta^2 = .230$), révélant une absence d'amélioration de cette catégorie de fonctions suite à l'entraînement. L'analyse test par test révèle tout de même une amélioration significative sur le Directional Headings test, ($t(28) = 2.22$, $p < .05$). Pour ce qui est des mesures de vitesse de traitement de l'information, un effet du groupe est significatif (Wilk's $\Lambda = .21$, $F(8, 21) = 9.75$, $p < .001$, $\eta^2 = .788$). Les analyses suivantes en tests-t mettent en évidence des améliorations significatives en faveur du groupe entraîné pour chacune des 8 mesures de vitesse de traitement.

Par conséquent, sur les trois catégories de fonctions cognitives testées, deux se révèlent significativement sensibles à l'amélioration par l'entraînement en exergame. Sans tenir compte de la catégorisation théorique que nous avons effectuée, on constate que 15 des 18 fonctions testées se sont montrées sensibles à l'amélioration suite à la pratique des exergames. Ce large effet bénéfique des exergames sur les fonctions exécutives et la vitesse de traitement de l'information s'inscrit dans la lignée de nombreux travaux sur les effets de la pratique physique sur ces mêmes fonctions, présentés notamment à travers la méta-analyse de Colcombe et Kramer (2003)²⁰. Les travaux de Dustman et collaborateurs (1984, 1992) sont également intéressants à mettre en parallèle avec nos conclusions puisqu'ils font partie des rares travaux qui permettent de comparer les effets de l'activité physique avec ceux des jeux vidéo sédentaires. Dustman avait alors constaté qu'un programme en activité physique aérobie engendrait davantage de bénéfices sur les fonctions exécutives et la vitesse de traitement de l'information qu'un programme en jeux vidéo sédentaires. Les différences de bénéfices résideraient alors dans l'inégalité des sollicitations physiques engendrées par les deux programmes. L'amélioration du transport et de l'utilisation de l'oxygène permise par le programme aérobie permettrait d'améliorer le métabolisme des neurotransmetteurs, et ainsi serait responsable des améliorations cognitives observées. En accord avec cette hypothèse explicative, nos résultats montrent des effets significatifs de l'entraînement sur les capacités physiques des participants (i.e., équilibre dynamique et force musculaire), et plus particulièrement sur la santé cardiorespiratoire (i.e., test de marche de 6 minutes). De plus, les données relatives à l'intensité d'effort moyenne sur le programme nous indiquent que la pratique des exergames a bien engendré une activité physique d'intensité modérée puisque cette intensité d'effort s'élève à 41,38 %²¹ de la Fréquence Cardiaque de Réserve (avec une

²⁰ L'effet constaté dans cette méta-analyse étant plus fort pour les fonctions exécutives (Effect Size = 0.68) que pour la vitesse de traitement de l'information (Effect Size = 0.27).

²¹ L'American College of Sports Medicine (2006) annonce qu'une activité physique de nature modérée se situe entre 40 et 59 % de la Fréquence Cardiaque de Réserve.

séance 2 à 39,94% et une séance 22 à 43,24%) (American College of Sports Medicine, 2006 ; Howley, 2001). Par conséquent, nous suggérons que les améliorations cognitives observées lors du programme en exergame seraient en partie dues à la cascade d'effets biochimiques et physiologiques qui se déclenchent lors de la pratique d'une activité aérobie, à savoir une augmentation du flux sanguin cérébral ainsi qu'une libération de facteurs neurotrophiques impliqués dans la synaptogénèse, la neurogénèse et l'angiogénèse, les principaux mécanismes sous-jacents à la plasticité cérébrale (e.g., Theill et al., 2013).

Cependant, nous émettons une autre hypothèse complémentaire afin d'expliquer ces bénéfices, notamment au travers des propriétés intrinsèques des exergames. Cette hypothèse suggère que les caractéristiques intrinsèques des jeux vidéo pourraient expliquer pourquoi les améliorations observées semblent plus importantes que celles associées à une pratique physique plus classique (e.g., Dustman et al., 1984 ; 1992). Nous distinguons quatre caractéristiques potentiellement explicatives des bénéfices observés. Tout d'abord, les programmes d'entraînement par jeux vidéo, d'ordre cognitif ou physique, sont perçus comme très attractifs et motivants, favorisant ainsi l'apprentissage et le transfert (Graves et al., 2010). Ensuite, le fait de pouvoir manipuler le niveau de difficulté au sein même des jeux semble favoriser l'adaptation des joueurs à la tâche, et encourager de meilleures performances, notamment en faveur d'un public novice tel que les seniors (Ahissar & Hochstein, 2004). De plus, l'attractivité naturelle et la motivation induite par les feedbacks proposés lors des jeux seraient des déterminants au développement et à l'apprentissage de nouvelles habiletés (Hertzog & Fahle, 1997). Enfin, le dernier déterminant important associé aux effets des exergames serait la variabilité apportée par les propriétés intrinsèques de la stimulation cognitive par jeux vidéo. En effet, certains auteurs affirment que les apprentissages sont engendrés par l'intermédiaire d'une importante diversité dans les tâches d'apprentissage et dans les types d'interaction proposés (e.g., Schmidt & Bjork, 1992). Cette hypothèse suggère que plus un programme d'entraînement est associé à une variété de combinaisons de processus impliqués, plus l'effet de transfert observé serait important (Green & Bavelier, 2008). Le programme exergame que nous avons mis en place propose un environnement riche et stimulant, hautement variable, sollicitant de nombreux processus en parallèle. Les joueurs doivent faire preuve simultanément de rapidité, de précision, de raisonnement et de stratégie. Concernant l'effet sur les fonctions exécutives, nous pensons que les améliorations seraient le reflet de l'importante variabilité des sollicitations des jeux, imposant aux participants de se réadapter systématiquement aux nouvelles logiques internes des jeux. En effet, les jeux proposés en exergame amènent les participants à distribuer leurs capacités cognitives à travers différentes tâches aux priorités et sollicitations variées. Au regard de l'hypothèse avancée notamment par Nouchi et al., (2012), l'effet de transfert que nous avons observé indique qu'il y aurait une sollicitation similaire en termes de processus cognitifs et

d'aires cérébrales entre les tâches d'entraînement et les tests neuropsychologiques (Dahlin, Neely, et al., 2008 ; Jonides, 2004 ; Persson & Reuter-Lorenz, 2008). Cette approche théorique induit donc que l'ensemble des jeux d'entraînement et les fonctions évaluées par pré et post tests partagent les mêmes régions cérébrales, en l'occurrence ici le cortex préfrontal (Kennedy & Raz, 2009), puisque les processus cognitifs sous-tendant nos tests exécutifs sont supportés par les régions frontales et préfrontales. Cet effet bénéfique des exergames particulièrement sur les fonctions exécutives des personnes âgées a depuis largement été confirmé (e.g., Adcock et al., 2020 ; Anderson-Hanley et al., 2012 ; Schoene et al., 2013 ; Eggenberger et al., 2015 ; Gschwind et al., 2015 ; Ogawa, You & Leveille, 2014 ; pour revue, Stojan & Voelcker, 2019). Fabel et ses collaborateurs (2009) défendent que les exergames permettent d'amplifier les effets sur les fonctions exécutives en ajoutant une demande cognitive à la pratique physique, ce qui faciliterait les changements neurophysiologiques au niveau cérébral.

II. 2. 2. Impact de la pratique des exergames sur les facteurs de risque de chute des personnes âgées

La préservation de l'équilibre et de la marche chez les personnes âgées est un enjeu majeur de santé publique, afin de participer au mieux au maintien de l'autonomie. Environ 30% des plus de 65 ans chutent chaque année, 50% ressentent une peur de chuter et près de 40% rapportent éviter des activités par crainte de chuter (e.g., Gillepsie et al., 2009). Lorsque surviennent avec l'âge une baisse de la mobilité ainsi que des pertes fonctionnelles, en résultent majoritairement une dépendance dans les activités quotidiennes, un isolement social, la nécessité d'une prise en charge en institution, le tout s'accompagnant généralement d'une baisse de la qualité de vie (e.g., Metz, 2000 ; Yeom et al., 2008). Il apparaît alors important de mettre en place des programmes de prévention des chutes, centrés sur les capacités d'équilibre et de marche et la qualité de vie. Plusieurs arguments nous ont alors incités à tester l'efficacité d'un programme en exergame sur les facteurs de risque de chute des personnes âgées. Tout d'abord, la littérature souligne à plusieurs reprises que les programmes engendrant une stimulation physique permettent d'atténuer le risque de chutes ainsi que la peur de chuter (e.g., Cassilhas et al., 2007 ; Hauer et al., 2001 ; Howe, Rochester, Jackson, Banks & Blair, 2007 ; Sherrington et al., 2008). Les rares études qui se sont intéressées à l'efficacité d'un programme en exergame révèlent également des améliorations significatives sur les capacités d'équilibre et la peur de chuter (i.e., Dougherty, Kancel, Ramar, Meacham & Derrington, 2011 ; Lamoth, Caljouw & Postema, 2011 ; Nitz et al., 2009). De plus, les exergames, de par leur stimulation cognitivo-motrice, entraînent les capacités de double-tâche qui sont déterminantes dans les activités du quotidien et notamment pour le maintien des capacités de marche et la prévention des chutes (e.g., Gschwind et al., 2015 ; Pichierri, Murer & de Bruin, 2012 ; Schättin et al., 2016). Ensuite, la pratique des exergames, de

par l'exécution de gestes précis, contrôlés et à différentes vitesses, en réponse à des stimuli visuels, va engendrer une meilleure coordination des gestes et un contrôle du corps plus adapté. Cela pourrait contribuer à une meilleure prévention des chutes (Reed-Jones, Dorgo, Hitchings & Bader, 2012). Enfin, l'outil « balance board ²² » propose des situations où le joueur doit modifier l'inclinaison de son centre de gravité, offrant ainsi une alternative ludique et innovante à des exercices d'équilibre plus traditionnels. Par conséquent, ma contribution expérimentale sur l'impact de la pratique des exergames sur les facteurs de risque de chute des personnes âgées se reflète à travers deux expérimentations, toutes deux interventionnelles.

La première contribution reprend le même protocole que celui présenté en partie II.2.2.1 et s'interroge cette fois-ci sur la sensibilité d'un indicateur biomécanique du contrôle de l'équilibre à la pratique d'un programme en exergame, en plus de l'évaluation de capacités physiques et psychosociales. Cette approche multidisciplinaire, à la fois objective et subjective, permettrait une compréhension plus fine des effets des exergames sur la prévention des chutes. L'efficacité de l'indicateur biomécanique du contrôle de l'équilibre postural au cours de la marche de la personne âgée a été étudiée ici à partir de l'intensité du freinage de la chute du centre des masses. Ce freinage est nécessaire car le centre des masses chute pendant les phases de simple appui. Cette décélération a pour effet de maintenir de façon optimale son équilibre postural afin de poursuivre sa marche. La marche est une succession de déséquilibres vers l'avant, résultant d'une projection hors du polygone de sustentation de son centre des masses. Ces déséquilibres sont nécessaires et contrôlés. Il a été montré que chez de jeunes adultes, cette vitesse du centre des masses est ralentie juste avant la reprise de contact au sol du pied oscillant (e.g., Honeine, Schieppati, Gagey & Do, 2013). Ce ralentissement qui reflète les mécanismes périphériques (force des muscles anti-gravitaires) et les structures neuronales centrales (dopaminergiques) a démontré à travers plusieurs travaux sa pertinence dans l'étude des chutes chez les personnes âgées (e.g., Chastan et al., 2009a, 2009b ; Chong, Chastan, Welter & Do, 2009). En effet, la force et la résistance de ces muscles anti-gravitaires sont diminués avec l'avancée en âge (Roubenoff, 2000 ; Runge, Rittweger, Russo, Schiessl & Felsenberg, 2004) ainsi que l'efficacité des neurones dopaminergiques (e.g., Erixon-Lindroth, Farde, Wahlin et al., 2005). Une étude préliminaire a d'abord été menée afin de confirmer que les personnes âgées connaissent un déficit dans cette décélération de la chute du centre des masses. La vitesse de décélération au cours de la marche a été mesurée chez 35 jeunes adultes (20/35 ans) et 34 personnes âgées (65/80 ans) en situation

²² La « balance board » est un accessoire en forme de pèse-personne électronique, conçu par Nintendo pour la console de jeu Wii, et notamment pour le jeu « Wii Fit ». Elle est constituée de plusieurs capteurs de pression utilisés pour mesurer le centre des pressions des pieds des utilisateurs. Cet accessoire est utilisé pour tous les jeux demandant au joueur de modifier l'inclinaison de son centre de gravité (yoga, gymnastique, équilibre...)

de marche avec des pas naturels et des pas raccourcis²³. Les résultats confirment que la décélération est significativement plus basse pour le groupe de sujets âgés (Maillot, Perrot, Hartley & Do, 2014 ; expérience préliminaire), et ce, quelle que soit la taille des pas (Tableau VII).

Tableau VII : Comparaison de la décélération de la chute du centre des masses, en fonction de la taille du pas, chez des sujets jeunes et âgés

	Younger participants		Older participants		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		
Age (Years)	27.09	3.89	68.65	5.28	3.80	.00
Self-rated health	4.31	0.67	3.94	0.54	2.51	.01
Years of education	16.20	2.27	15.94	3.08	0.39	.69
Body Mass Index (kg/m ²)	22.79	4.21	24.33	4.13	1.54	.13
Physical activity	3.31	0.93	3.06	1.07	1.05	.29
Braking Force : short step (N)	125.46	43.79	73.13	43.13	25.00	.00
Braking Force : normal step (N)	222.57	74.00	118.11	69.11	36.67	.00

Note. *M* = Mean. *SD* = Standard Deviation.

L'étude principale a ensuite consisté à évaluer l'impact d'un programme en exergame sur ce paramètre biomécanique de la marche, ainsi que sur les capacités fonctionnelles en lien avec l'équilibre et l'état de santé de personnes âgées. 16 personnes volontaires, âgées entre 65 et 78 ans, autonomes et non chuteuses les 12 derniers mois, ont donc été testées i) sur une partie du Senior Fitness Test, afin d'évaluer leurs santé cardiovasculaire, leur force musculaire des membres inférieurs et leur équilibre dynamique, ii) sur le SF-36 (Leplege et al., 1998), issu de la Medical Outcomes Study, afin d'évaluer leur état de santé subjectif, à travers un score de santé physique et un score de santé mentale et iii) sur la décélération de la chute du centre des masses. Elles ont ensuite été réparties soit dans le groupe intervention (8 participants suivant le programme en exergame), soit dans le groupe contrôle (8 participants sans intervention, ni contact). Pendant 12 semaines, les participants du groupe contrôle s'engageaient à ne pas modifier leur style de vie, alors que les participants du groupe expérimental pratiquaient 1 heure de jeux sur la Nintendo Wii (même programme que dans l'étude II.2.2.1), deux fois par semaine (pour un total de 24h de pratique). A la fin de chaque séance d'exergames, les joueurs étaient évalués sur une situation référence de saut à ski sur la balance board, sollicitant l'équilibre postural. Une fois les 12 semaines passées, l'ensemble des participants était à

²³ Ces conditions de longueur de pas nous permettent de nous assurer que les effets de l'âge sur le paramètre biomécanique de décélération ne sont pas dus à la longueur du pas, car ce paramètre est sensible aux effets de l'âge.

nouveau testé sur les mêmes fonctions qu'en pré-tests. Les résultats de cette étude confirment tout d'abord les résultats que nous avons obtenus précédemment (e.g., Maillot et al., 2012b) au niveau de l'adhésion et de l'accessibilité. 186 séances ont été suivies sur 192 possibles (soit 96.88%) et 75% des joueurs jugent la pratique accessible ou très accessible. L'ensemble des joueurs aurait souhaité poursuivre le programme, 87.5% estiment avoir une meilleure connaissance de leur corps grâce au programme et 50% envisagent de commencer à pratiquer une activité physique régulière. Le potentiel attractif des exergames se renforce encore ici. Le challenge et l'amusement ont rendu les joueurs très motivés à pratiquer des exercices stimulant leurs capacités d'équilibre. Cet outil apparaît à travers nos travaux comme un allié très intéressant pour lutter contre le risque de chute²⁴ des personnes vieillissantes et promouvoir le bien vieillir.

Tableau VIII : Comparaisons des scores de progrès entre le groupe entraîné et le groupe contrôle sur les variables physiques et psychologiques

	Control		Training		<i>t</i>	<i>p</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		
<i>Balance and Functional Fitness</i>						
Braking Force : Short step (N)	6,62	17,05	16,28	25,84	0,88	0,39
Braking Force : Normal step (N)	-6,55	12,41	28,41	43,60	2,18	< 0,05
Chair stands (Number)	-2,00	1,20	26,63	1,19	7,76	< 0,01
8-foot Up-and-Go (sec)	0,72	0,44	-1,07	0,74	-5,92	< 0,01
6-min Walk (Meters covered)	2,11	23,94	55,54	39,75	3,26	< 0,01
<i>Quality of life (SF-36)</i>						
Physical functioning	0,13	1,25	0,25	2,55	0,12	0,90
Role physical	0,25	1,91	-0,63	1,99	-0,90	0,39
Bodily pain	-0,38	1,06	0,50	2,20	1,01	0,33
General health	-0,38	2,07	1,13	1,89	1,52	0,15
<i>Physical global score</i>	-0,38	2,92	1,25	5,31	0,76	0,46
Vitality	-1,13	1,46	0,63	2,82	1,56	0,14
Social functioning	1,25	1,28	-0,88	1,64	-2,89	< 0,05
Role emotional	-0,63	1,30	0,13	0,99	1,30	0,26
Mental health	0,88	2,03	2,25	2,25	1,28	0,22
<i>Mental global score</i>	-1,75	2,05	4,25	2,71	4,99	< 0,01
Health thinking	0,00	0,00	0,25	0,71	1,00	0,33

Note. *M* = Mean. *SD* = Standard Deviation. *N* = Newton. For chair stand, a positive mean corresponds to an improvement between pre- and post-test. For 8 foot Up and Go, a negative mean corresponds to an improvement between pre- and post-test. All *p* values smaller than *p* = .05 remain significant after Bonferroni correction.

²⁴ Nous n'avons cependant aucune donnée relative au taux de chute des participants post-programme.

Pour ce qui est des capacités d'équilibre des participants, nous avons constaté que la force de décélération s'est significativement améliorée avec l'entraînement en condition de longueur de pas naturelle, suggérant un contrôle plus actif de l'équilibre. Les mesures cliniques de l'équilibre, à savoir la santé cardiovasculaire, la force des membres inférieurs et l'équilibre dynamique se sont également montrées sensibles à l'entraînement en exergame (tableau VIII), tout comme la tâche référence de saut à ski, avec une amélioration des performances à travers les sessions ($F(23, 161) = 10.61, p < .001, \eta^2 = .60$). Ces résultats sont cohérents avec la nature des stimulations engendrées par la pratique des jeux sur la Wii. Par exemple, les jeux de boxe et de tennis sur *wii sports* stimulent les capacités cardiovasculaires et musculaires des joueurs (Miyachi, Yamamoto, Ohkawara & Tanaka, 2010). Les jeux sur la balance board, eux, requièrent des mouvements fins de transfert de poids de corps, aussi bien dans l'axe antéro-postérieur que latéral. De plus, chaque action est associée à un biofeedback visuel, qui engendre des ajustements permanents. Toutes ces propriétés sont donc probablement responsables des améliorations observées (e.g., Reed-Jones et al., 2012). Nous pouvons également émettre l'hypothèse que l'amélioration de la force musculaire et de la santé cardiovasculaire a contribué à l'optimisation de la capacité de freinage car ces paramètres sont sollicités pour réaliser la décélération. Au niveau de l'état de santé subjectif, le programme a permis une amélioration du score de santé mentale. Les participants rapportent une plus grande vitalité pour réaliser des activités de la vie quotidienne et moins de limitations issues de la fatigue ou de la douleur dans leurs relations sociales. Cette étude reste la première à démontrer l'efficacité d'un programme en exergame sur des facteurs de risque de chute à la fois biomécaniques, physiques et psychologiques.

Deux autres études en lien avec la chute des personnes âgées ont été menées à l'hôpital Charlevoix, dans le cadre de stage recherche de Master 2. Lors des travaux d'Alizée Denis, nous nous sommes intéressés à l'impact de la pratique des exergames sur plusieurs variables psychologiques qui peuvent décliner à la survenue d'une chute, chez des personnes âgées en perte d'autonomie (Mezière, Denis, Berchel, Moreau & Perrot, 2020). Dix patients âgés entre 74 et 102 ans ($M = 88.1$ ET = 7.23), hospitalisés en soins de suite et réadaptation après une chute ont alors été évalués sur leur niveau d'estime de soi (échelle de Rosenberg, Vallières & Vallerand, 1990), leur peur de chuter (Questionnaire FES-I ; Yardley et al., 2005) et leur qualité de vie en lien avec la santé (profil de santé de Duke, Guillemin, Paul-Dauphin, Virion, Bouchet & Briançon, 1997). Puis, ils ont pratiqué entre 4 et 6 séances d'une heure de jeux sur la Nintendo Wii (i.e., Bowling sur Wii sport et Slalom à ski sur Wii Fit), en plus de leur programme classique de réadaptation. Leurs progrès sur les variables psychologiques ont été comparés à un groupe contrôle (7 participants âgés entre 73 et 95 ans, $M=86$, ET = 7.48) qui suivait uniquement le programme classique de réadaptation. Les résultats (issus de statistiques non paramétriques)

rèvent après seulement 4 à 6 heures de pratique une amélioration significative sur le score global de la qualité de vie en lien avec la santé, notamment sur les dimensions physiques et mentales ($U_{\text{Duke général}} = 11, p < .05$; $U_{\text{Duke physique}} = 0, p < .001$; $U_{\text{Duke Mental}} = 10,5, p < .05$). Les patients qui ont suivi le programme en exergame se sentent plus en forme physiquement, motivés, concentrés et rapportent moins de douleurs, de problème de sommeil, de fatigue, de tristesse et de dépression. Concernant les deux autres dimensions psychologiques qui ne se sont pas améliorées, il apparaît délicat de conclure à une inefficacité des exergames tant le nombre de séances est limité. Nous abordons davantage ces résultats comme une « ultra sensibilité »²⁵ de la qualité de vie en lien avec la santé pour ce public très âgé en perte d'autonomie.

Lors des travaux de recherche de Nabila Djehbari, nous nous sommes intéressés à l'intérêt d'ajouter des exergames à un court programme de réadaptation en APA sur les capacités d'équilibre et la peur de chuter de personnes âgées chuteuses (Djehbari, Farcet, Cara, Khalili, Perrot & Mezière, 2020). Onze patients âgés en moyenne de 83.8 ans (ET = 3.5), hospitalisés en soins de suite et réadaptation suite à une chute ont alors été évalués sur leurs capacités d'équilibre à travers le Short Physical Performance Battery (SPPB ; Guralnik et al., 2000), et l'échelle de Berg (Berg et al., 1992) ainsi que sur leur peur de chuter (Questionnaire M-FES fr, Perrot, Castanier, Maillot & Zitari, 2018). Puis, ils ont réalisé un programme de réadaptation comprenant moitié d'exercices sur la Nintendo Wii (i.e., Bowling sur Wii sport et Slalom à ski sur Wii Fit), et moitié d'exercices d'APA²⁶, à raison de 30 minutes, 3 fois par semaine pendant 3 semaines. Parallèlement, un groupe contrôle de 10 participants âgés en moyenne de 85,2 ans (ET = 4,2) passaient les mêmes tests et suivaient uniquement le programme classique de réadaptation. Les résultats²⁷ ne révèlent aucun effet du programme d'APA unique. A l'inverse, le groupe ayant suivi le programme combiné (APA + exergames) présente des améliorations significatives sur les scores d'équilibre du SPPB et sur l'échelle de Berg ainsi que sur la peur de chuter. Il semble donc que les exergames aident à accélérer les bénéfices physiques et psychologiques engendrés par la stimulation physique. En effet, les programmes d'intervention présentés ici restent courts (9 séances, 4,5 heures de pratique) mais malgré tout, semblent rapidement efficaces lorsqu'on y ajoute la dimension jeux vidéo.

²⁵ Nous parlons ici d'ultra sensibilité étant donné que 4 à 6 séances ont été suffisantes pour obtenir des résultats significatifs.

²⁶ Le programme APA était constitué d'exercices de fitness et de « airboxe ».

²⁷ Les statistiques réalisées ici sont issues de tests non paramétriques, au regard du faible échantillon. Le projet initial était plus important mais il s'est tenu en pleine pandémie, entre janvier et septembre 2020, engendrant une mortalité expérimentale importante et incontrôlable. Cette situation explique également l'absence de publication de ces données (uniquement présentées en congrès national). Malgré tout, il me semblait pertinent de les présenter ici.

II. 2. 2. 3. Impact de la pratique des exergames sur le vieillissement précoce des personnes atteintes de Trisomie 21

Plusieurs arguments justifient que notre intérêt pour les effets des exergames sur les déclinés liés à l'âge se soit élargi à un public spécifique, à savoir les personnes atteintes de Trisomie 21 (T21). Tout d'abord, en moins d'un siècle, l'espérance de vie des personnes atteintes de T21 est passée de 9 ans (en 1929) à 65 ans aujourd'hui (e.g., Fromage & Anglade, 2002; Bittles & Glasson, 2004). Il faut donc dorénavant faire face au vieillissement de ce public et cette évolution n'est pas sans conséquences en termes de dépendance et d'accompagnement de vie pour les parents. Ensuite, les personnes atteintes de T21 sont sujettes à un vieillissement précoce, à partir de 35-40 ans (Zigman, 2013) et s'exposent à un haut risque de développer la maladie d'Alzheimer (e.g., Lott & Head, 2001 ; Salem & Jorgenson, 2014). Par conséquent, les effets délétères du vieillissement, à la fois sur les capacités physiques et cognitives, s'ajoutent rapidement aux déficits caractéristiques de la Trisomie 21²⁸. Enfin, les personnes atteintes de T21 ont tendance à s'installer dans un style de vie très sédentaire (Hilgenkamp, Reis, van Wijck & Evenhuis, 2012 ; Lotan, 2007), et ce, d'autant plus qu'ils avancent en âge (Finlayson et al., 2009), ce qui accentue davantage les déficits, notamment le déconditionnement physique. Par conséquent, il semble important d'aider les personnes atteintes de T21 à vieillir le mieux possible. La littérature scientifique souligne assez bien l'importance de l'activité physique chez ce public spécifique (Silva et al., 2017). Des travaux ont démontré son impact bénéfique sur les capacités cardiovasculaires (e.g., Andriolo et al., 2010), la force musculaire et l'équilibre (e.g., Li et al., 2013), et même la cognition (e.g., Chen, Ringenbach, Crews, Kulinna & Amazeen, 2015 ; Holzapfel et al., 2015 ; Ringenbach et al., 2008, 2016). Pour autant, les recommandations nationales sont très faibles (INSERM, 2016) et l'accessibilité des pratiques sportives pour les personnes atteintes de T21 restent fortement limitées. Les caractéristiques des exergames, notamment de par leurs attractivité et accessibilité prennent alors tous leur sens. Quelques travaux ont déjà porté leur attention sur l'efficacité de cet outil auprès de ce public spécifique. La méta-analyse de Mura et al. (2017) souligne tout d'abord que les exergames sont un outil intéressant pour la réhabilitation des fonctions motrices et cognitives chez des adultes atteints de déficits neurologiques ou de maladies neurologiques développementales, comme la sclérose en plaque, l'hémiplégie, la démence et la T21. Chez des enfants atteints de T21, Rahman (2010) et Wuang et al. (2011) ont noté des améliorations au niveau de l'équilibre et de l'efficacité motrice. Seule une étude (Silva et al., 2017) a porté sur des adultes atteints de T21 et révèle l'efficacité d'un programme de jeux Wii sur les capacités cardiovasculaires, la mobilité et

²⁸ Déficiences au niveau des capacités cardiovasculaires (e.g., Baynard et al., 2008) de la force musculaire (e.g., Carmeli et al., 2002), du contrôle postural (e.g., Shields et al., 2008), des capacités attentionnelles, mnésiques et de raisonnement (e.g., Spano et al., 1999).

l'efficacité motrice. Notre contribution expérimentale consiste donc à approfondir ce champ de recherche, en élargissant notre compréhension des effets des exergames, sur les capacités physiques, fonctionnelles et cognitives de ces personnes plutôt sédentaires, atteintes d'un vieillissement précoce. Selon nous, les exergames peuvent se montrer un outil parfaitement accessible, motivant et adaptable aux caractéristiques des personnes atteintes de T21, engendrant une stimulation physique et cognitive intéressante et préconisée. Ce projet, dans un premier temps exploratoire, a fait l'objet d'une étroite collaboration avec l'institut Lejeune à Paris, le premier centre européen de soin et de recherche médicale sur la trisomie 21, dans le cadre d'un stage recherche en master 2 (Perrot, Maillot, Le Foulon & Rebillat, 2021). Nous avons donc testé l'impact d'un programme d'entraînement en exergame (Wii sports avec Tennis et Bowling et Wii Fit Plus avec Soccer heading, saut à ski, Hula hoop et Marbles Games) de 24 séances (réparties sur 12 semaines) sur six participants atteints de T21, âgés entre 35 et 64 ans ($M_{\text{age}}=49.3$, $ET= 8.2$). Ces participants ont été testés avant et après programme sur leur mobilité fonctionnelle (Timed Up and Go test (Podsiadlo & Richardson, 1991) et Timed Up and Down Stairs test (Zaino, Marchese & Westcott, 2004)), leur force musculaire (30-second chair stand test, Jones & Rikli, 2002), leurs capacités cardiovasculaires (Test de marche de 6 minutes, American Thoracic Society, ATS, 2000), leur empan spatial (bloc de Corsi, Wechsler, 1997) et leur attention sélective (test de barrage de stimulus, Korman, Kirk & Kemp, 2012). Les progrès sur ces variables ont été comparés à ceux d'un groupe contrôle sans intervention (6 participants, $M_{\text{age}}=51.4$, $ET=6.7$). Comme pour les précédentes études, les premiers résultats intéressants concernent l'adhésion au programme. Le taux est à nouveau très élevé (96,53%), la totalité des joueurs rapportant vouloir continuer le programme. Ces résultats confirment le haut potentiel des exergames en termes d'accessibilité et d'attractivité. Les exergames se présentent donc comme une alternative motivante et appréciée à l'activité physique traditionnelle (e.g., Hughes et al., 2009 ; Schutzer & Graves, 2004). Concernant les bénéfices sur les fonctions physiques et cognitives, les résultats révèlent tout d'abord que le programme a engendré des bénéfices significatifs sur les paramètres de mobilité fonctionnelle, les capacités cardiovasculaires et la force musculaire (Tableau IX). Ces résultats sont en accord avec la littérature (e.g., Berg et al., 2012 ; Li, Chen, Meng How & Zhang, 2013 ; Stanmore et al., 2017 ; Wuang et al., 2011). La pratique des exergames atténuerait certains déficits caractéristiques de la maladie, à savoir une faiblesse cardiovasculaire (Baynard et al., 2008) et musculaire (Carmelli et al., 2002), ainsi que des troubles du contrôle postural (Shields et al., 2008). Elle limiterait parallèlement le déconditionnement physique des personnes atteintes de T21, issu de leur style de vie trop sédentaire. Ces progrès sont également intéressants puisque les fonctions concernées sont sollicitées dans les activités de la vie quotidienne, telles que se lever d'une chaise, marcher ou monter des escaliers (e.g., Tomaszewski Farias et al., 2009).

Tableau IX : Progrès (post-tests – prétests) sur les variables physiques et cognitives en fonction du groupe

Variables	Control (n = 6)		Wii-Based Exercises (n = 6)		Mann-Whitney <i>p</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
Cognitive Changes					
<i>Corsi block tapping (no.)</i>	0.33	1.51	-0.33	1.03	n.s
<i>Stimulus Barrage Test (no.)</i>	0.67	1.51	-1.17	3.71	n.s
<i>Stimulus Barrage Test (sec)</i>	-1.55	34.25	8.00	13.61	n.s
Physical Changes					
<i>TUG (sec)</i>	-0.08	0.79	1.65	0.76	<i>p</i> < .01
<i>TUDS (sec)</i>	-0.75	2.54	3.18	0.98	<i>p</i> < .01
<i>30-second Chair Stand test (no.)</i>	-0.67	1.51	2.67	2.34	<i>p</i> < .05
<i>6 MWT (m)</i>	-19.00	21.86	23.62	39.37	<i>p</i> < .05

Note. M = Mean. SD = Standard Deviation. n.s = non-significant. BMI = Body Mass Index. TUG = Timed Up and Go. TUDS = Timed Up and Down Stairs. sec = seconds. no. = number. m = meters

Cependant, aucun progrès n'a été constaté sur les capacités cognitives des joueurs. Ce résultat va à contre sens de nos hypothèses de départ et mérite un approfondissement. Plusieurs travaux ont déjà observé les bénéfices des jeux vidéo sur des personnes souffrant de déficits cognitifs (pour revue, Rodriguez Jimenez et al., 2015 ; Stanmore, Stubbs, Vancampfort, de Bruin & Firth, 2017). Stanmore et collaborateurs suggèrent que les exergames augmentent les ressources cognitives, notamment les fonctions exécutives et visuo-spatiales de personnes souffrant de déficits neurologiques. Comme défendu par plusieurs auteurs (e.g., Green & Bavelier, 2008 ; Kleim & Jones, 2008 ; Mura et al., 2017), les propriétés intrinsèques des exergames, telles que l'environnement hautement variable, les répétitions, l'augmentation de la difficulté, les biofeedbacks, la motivation auraient pu engendrer des bénéfices cognitifs. Mais ces caractéristiques, efficaces sur des personnes atteintes de déficits neurologiques issus de la schizophrénie, d'une attaque cérébrale ou encore d'une démence (Stanmore, Stubbs, Vancampfort, de Bruin & Firth, 2017) semblent insuffisantes pour notre public atteint de T21. De plus, dans la revue de Rodriguez Jimenez (2015), les jeux qui se montrent efficaces sont principalement des jeux thérapeutiques indépendants, créés spécifiquement en laboratoire, ciblant une fonction bien précise à la fois (e.g., capacité d'écriture, mathématique, mémoire de travail, épellation de mots). Ainsi, les progrès constatés concernent plutôt un transfert proche. Notre protocole évalue davantage les possibilités d'un transfert éloigné, qui semble être plus compliqué à mettre en place chez des personnes atteintes de T21. Une autre hypothèse émise pour expliquer ces résultats sur la cognition provient des travaux sur les stimulations combinées

de Bamidis et collaborateurs (2015) qui annoncent que les personnes avec des capacités cérébrales amoindries ne posséderaient pas assez de ressources pour bénéficier des gains de l'entraînement. Plus les déficits cognitifs sont présents, plus les effets d'une stimulation sont atténués.

La dernière hypothèse que nous émettons pour expliquer notre absence de bénéfices cognitifs concerne l'intensité de pratique du programme en exergame. Des cardiofréquencemètres portés pendant les séances nous indiquent que les joueurs n'ont pas atteint le seuil moyen de 40% de la fréquence cardiaque de réserve, représentant une activité physique dite modérée. Or, plusieurs travaux indiquent qu'il est nécessaire d'atteindre ce seuil pour que les effets d'une stimulation physique, en terme d'oxygénation cérébrale, se répercutent sur les performances cognitives (Dustman et al., 1984 ; 1992). Ce constat contredit de précédents travaux qui avaient démontré que la pratique des jeux sur la Nintendo Wii représentait une activité modérée (e.g., Graves et al., 2010 ; Maillot et al., 2012b, 2014 ; Read & Shortell, 2011). Le programme proposé ici est identique à celui présenté dans l'étude II.2.2.1 qui avait permis aux personnes âgées d'atteindre une intensité moyenne d'effort supérieure à 40%. Il semble donc que ce programme en exergame proposé comme pour des personnes âgées ne soit pas assez stimulant pour les personnes atteintes de T21. Cette étude, de par son absence de recul, mais aussi son échantillon très faible et très étendu en âge (35-64 ans), reste exploratoire mais ouvre la voie vers des recherches plus conséquentes dans ce domaine. Une prochaine étude devra chercher à affiner la nature du programme en exergame, afin d'optimiser la possibilité d'engendrer des bénéfices cognitifs chez les personnes atteintes de T21. Il semble en effet nécessaire de travailler à une adaptation du programme pour ce type de joueurs, probablement en terme de motivation, d'encadrement et de situations de jeux proposées, afin qu'ils puissent pratiquer une activité d'intensité au moins modérée, et envisager des bénéfices cognitifs. Des jeux de danse²⁹, plus stimulants physiquement, pourraient être une option intéressante (Brami, Trivalle & Maillot, 2018).

II. 3. Conclusion chapitre II

Les résultats que nous avons présentés dans ce chapitre dédié à l'impact des jeux vidéo chez les personnes âgées ou diminuées par un handicap confirment que ce type de loisir s'avère être un outil intéressant i) pour réduire les barrières à l'engagement dans un style de vie stimulant cognitivement et/ou physiquement, du fait de taux d'adhésion très élevés, ii) pour engendrer des effets cognitifs lorsqu'il s'agit de jeux vidéo sédentaires et cognitifs, physiques psychologiques et fonctionnels lorsqu'il s'agit de jeux actifs. Cependant, ce champ d'étude a

²⁹ Notamment sur la Xbox avec le jeu Dance Central, comme dans l'étude de Brami, Trivalle & Maillot, 2018, chez un public âgé atteint de la maladie d'Alzheimer.

encore peu de recul et beaucoup de questions restent à approfondir, notamment sur les caractéristiques des jeux pour qu'ils soient les plus bénéfiques possible. Les contributions expérimentales que j'ai menées me laissent penser que les jeux pour personnes âgées ne doivent pas être simplifiés au maximum dans un objectif d'accessibilité. Les bienfaits cognitifs sont amplifiés lorsque la situation est riche, stimulante, « challengeante » et variée. Beaucoup de jeux thérapeutiques créés pour les personnes âgées sont à mes yeux trop basiques et minimisent ainsi leur effet. Cependant, pour une génération de personnes moins coutumières de la pratique des jeux vidéo, toute la difficulté réside dans le maintien de l'utilisabilité³⁰ du jeu, à travers une simplification d'accès et d'utilisation, sans réduire les stimulations cognitives et physiques engendrées par le jeu.

³⁰ L'utilisabilité ici fait référence à la capacité du joueur à s'approprier le jeu, avec des facilités d'apprentissage, d'avancées dans le jeu et de satisfaction (Nielson, 1993)

Chapitre III Perspectives de recherche

Le chapitre III fait écho aux recherches qui viennent d'être présentées et se consacre à la présentation des travaux qu'il me tient à cœur de mettre en œuvre dans les années à venir. A travers plusieurs de ces perspectives, l'ouverture vers les neurosciences se veut récurrente car elle représente la principale orientation que je souhaite donner à mes futurs travaux de recherche. Ce champ disciplinaire pourrait en effet compléter et enrichir les premiers résultats que nous avons obtenus sur les bienfaits des situations enrichies.

III. 1. Approfondissement de l'impact des jeux vidéo...

Les perspectives de recherche sur les caractéristiques nécessaires des programmes en jeux vidéo découlent directement des résultats de l'étude sur *Super Mario Bros* (II.1.2). Malgré les effets constatés des jeux d'action sur la cognition, pour autant, ces jeux n'ont pas été créés dans une optique d'optimisation cérébrale, encore moins chez les personnes âgées. Certaines données qualitatives que nous avons recueillies à travers notre étude confirment ce point de vue. En effet, plusieurs participants du groupe *Super Mario Bros* ont manifesté des difficultés dans la prise en main du gameplay et des routines de jeu. Nous pensons alors que ces difficultés pourraient participer à l'expression des bénéfices cognitifs, et il convient d'approfondir cette hypothèse. En effet, plus l'environnement est complexe et stimulant, plus les bénéfices cognitifs sont marqués (e.g., Green & Bavelier, 2008). Une continuité de mes contributions dans le champ des jeux vidéo sédentaires va donc consister à tester l'impact de la difficulté de prise en main du jeu sur l'expression des bénéfices cognitifs. En effet, les personnes âgées représentent une génération qui n'est pas née avec une console vidéo entre les mains. Pour bon nombre des participants à l'étude, il s'agissait même de la première fois qu'ils utilisaient une console. Pour autant, le gameplay de l'entraînement cérébral du professeur Kawashima n'a engendré aucune plainte. Ce jeu, créé bien après Mario Bros (respectivement 2005 et 1983) a fait l'objet d'un travail important sur l'accessibilité du gameplay (console s'utilisant comme un livre, écran tactile, stylet), notamment dans l'objectif d'atteindre la cible senior. Aucune commande par combinaison de boutons n'est requise, contrairement à *Super Mario Bros*. Le projet serait donc de tester l'impact cognitif d'un jeu vidéo plus intuitif et donc plus accessible et « confortable » pour les personnes âgées. Peut-être est-il possible de créer un jeu tout aussi stimulant et complexe, de par les situations de jeu, tout en améliorant la prise en main et la gestion des routines ?

Pour reprendre l'image très parlante développée par Daphné Bavelier lors d'une conférence TEDx en 2012, ma contribution est d'aider la recherche à développer le brocoli au chocolat, ou plutôt le « chocolat-brocoli ». Les scientifiques commencent à comprendre les ingrédients que doit comporter un jeu vidéo pour être bon pour la santé, et notamment pour la santé cognitive.

C'est ce qui représente le côté « brocoli » de l'équation. L'industrie du jeu vidéo a, quant à elle, bien identifié la recette idéale pour inciter les joueurs à pratiquer sans pouvoir résister (i.e., p. 46, données sur *Call of Duty*). C'est alors le côté « chocolat » de l'équation. Mais il n'est pas si simple de mélanger les deux pour obtenir la recette idéale. Qui voudrait d'un brocoli au chocolat ? L'objectif est davantage de créer un nouveau chocolat, toujours irrésistible mais composé d'ingrédients bons pour la santé cognitive.



Figure 24 : Concept du brocoli au chocolat, développé par Bavelier (2012), représentant la difficulté à associer des jeux attirants et des jeux intéressants pour la cognition.

III. 2. Approfondissement de l'impact des exergames...

III. 2.1 ...en comparaison à des groupes contrôles actifs

L'étude pionnière issue de la thèse de Pauline Maillot (II.2.2.1) suggère que la pratique des exergames peut être un moyen efficace de contribuer au maintien des capacités fonctionnelles et cognitives des personnes âgées, tout en luttant contre l'explosion des comportements sédentaires. Ces caractéristiques peuvent notamment atténuer les réticences des personnes âgées à la pratique de l'activité physique, à savoir les limitations fonctionnelles, la peur de se blesser, le manque d'accessibilité et d'attractivité. Cependant, cette thématique de recherche relativement récente fait que nous avons peu de recul et que bon nombre de choses restent encore à étudier ou à approfondir. Notre prochaine contribution expérimentale dans ce champ va consister en une exploration plus fine des résultats observés afin de mieux comprendre si les effets des exergames sont additifs, sur-additifs ou sous additifs par rapport à d'autres types de programmes, à savoir i) une pratique simple d'activité physique, ii) une pratique simple d'entraînement cognitif, iii) une pratique combinée séquentielle, iv) une pratique combinée simultanée non interactive. Le fait de ne pas avoir de groupes « contrôle » actifs ne nous a pas permis de distinguer la part explicative de la stimulation physique et de la stimulation cognitive du programme, ni même de la stimulation engendrée par l'environnement virtuel et interactif

(Anderson-Hanley et al., 2012)³¹. Stojan et Voelcker-Rehage dans leur récente revue systématique (2019), soulignent d'ailleurs le manque encore trop fréquent de ces groupes contrôles actifs et Herold et ses collaborateurs (2018) insistent sur la nécessité de mener ces perspectives de recherche. De plus, nous ne pouvons qu'émettre l'hypothèse d'un effet de synergie entre les deux stimulations (e.g., Fissler et al., 2013 ; Kraft, 2012), sans pouvoir le démontrer. Fissler et collaborateurs en 2013 soulignent à ce propos la nécessité de poursuivre les travaux dans ce sens, en approfondissant la connaissance de l'effet d'un programme combiné par rapport à des programmes simples d'activités physiques ou de ce qu'ils appellent « les nouvelles interventions » (i.e., *novelty interventions*) telles que les jeux vidéo sédentaires ou les jeux de cartes (Figure 25). Fissler défend que les « nouvelles interventions » couplées à une stimulation physique et surtout proposant de la variabilité dans les tâches pourraient permettre un effet synergique, en déclenchant des effets provenant de plusieurs mécanismes. Ces caractéristiques de programme pourraient également être responsables d'un effet de transfert moins spécifique aux tâches entraînées, et donc plus large et plus important sur des tâches non entraînées, et sur des habiletés cognitives plus générales.

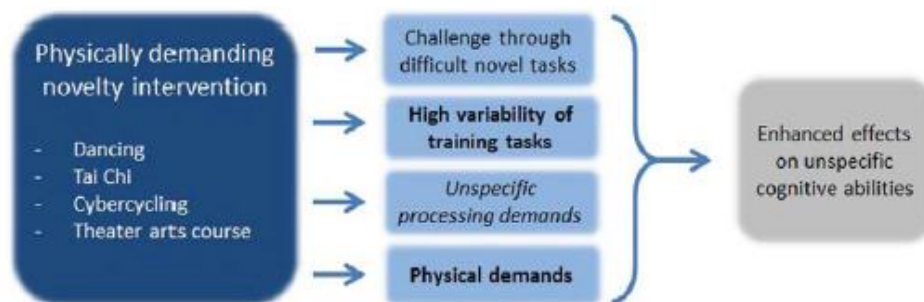


FIGURE 5

Physically demanding novelty interventions. Dancing, Tai Chi, cybercycling, and theater arts depict examples of this combined physical cognitive approach. In contrast to traditional novelty interventions, they include physical demands in addition to highly variable, novel tasks and thus enhance the transfer to unspecific cognitive based abilities.

Figure 25 : Caractéristiques des « nouvelles interventions » engendrant une stimulation physique, (issu de Fissler et al., 2013, p. 421)

L'activité physique du programme pourrait faciliter la plasticité, en permettant la prolifération de cellules dans l'hippocampe (Fabel et al., 2009) mais également en augmentant la production

³¹ Afin d'être complète, cette future contribution expérimentale veillera également à contrôler l'impact éventuel des interactions sociales sur les bénéfices observés. En effet, plusieurs travaux ont mis en évidence que les interactions sociales peuvent avoir à long terme un effet protecteur contre les déclin cognitifs (e.g., Gleib et al., 2005 ; Zunzunegui, Alvarado, Del Ser, & Otero, 2003).

de BDNF en amplifiant ainsi la plasticité synaptique (Lu, Nagappan & Lu, 2003 ; Rasmussen et al., 2009). L'activité cognitive du programme pourrait, elle, guider cette facilitation, en termes de changements synaptiques mais également au niveau de la structure et du fonctionnement neuronal (Herold et al., 2018 ; Stojan & Voelcker-Rehage, 2019, Figure 26).

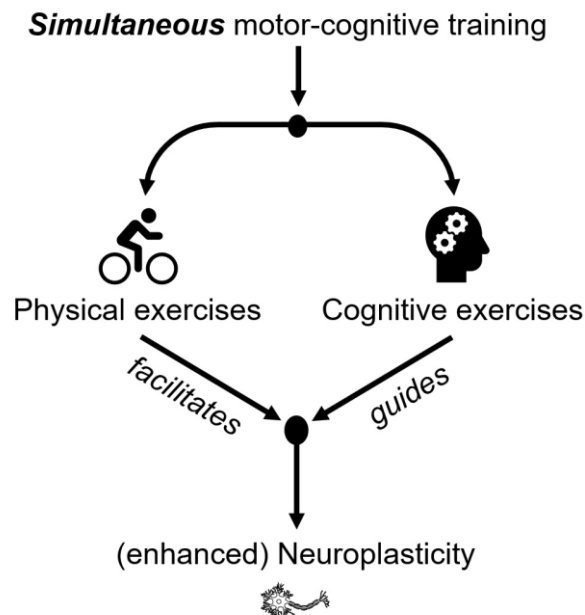


Figure 26 : Modèle de la plasticité facilitée et guidée (issu de Herold et al., 2018, p. 4)

Pour confirmer ces hypothèses explicatives, il est alors nécessaire de faire évoluer mon approche cognitive et comportementale qui ne me permet pas actuellement de tester les mécanismes neurophysiologiques sous tendant l'éventuel effet synergique des exergames. L'évaluation de la variable cardiovasculaire, qui soutient l'hypothèse métabolique des effets de l'activité physique ne suffit plus (Anderson-Hanley, et al., 2012). Une perspective de recherche serait alors d'examiner grâce à la neuroimagerie les mécanismes qui supportent les gains cognitifs et fonctionnels que nous avons pu observer lors de la pratique d'exergames. En 2016, Monteiro-Junior et ses collaborateurs soulignent que les mécanismes intrinsèques responsables de ces améliorations ne sont pas parfaitement élucidés. Les améliorations pourraient se traduire au niveau structurel (e.g., volume cérébral, épaisseur du cortex) et/ou fonctionnel par une amélioration de l'efficacité et/ou de la capacité neuronale ainsi que par le recrutement de réseaux alternatifs. Il pourrait également être intéressant de se pencher sur des biomarqueurs liés à un effet neurotrophique de la pratique des exergames, par analyse sanguine, afin de comparer les taux entre les programmes d'exergames et les programmes simples en activité

physique et/ou en stimulation cognitive. De précédents travaux ont en effet déjà constaté une augmentation de plusieurs facteurs neurotrophiques (BDNF, IGF-1, VEGF) suite à la pratique physique et à l'activité cognitive, qui contribuent à des changements structurels du cerveau en permettant la synaptogénèse, la neurogénèse et l'angiogénèse (Cotman & Berchtold, 2002 ; Cotman, Berchtold & Christie, 2007 ; Fabel et al., 2009 ; Gomez-Pinilla & Hillman, 2013 ; Kempermann et al., 2010 ; Maass et al., 2016 ; Vaynman & Gomez-Pinilla, 2005). Les travaux d'Anderson-Hanley, en 2012 ouvrent la voie d'un éventuel effet spécifique des exergames sur ces facteurs neurotrophiques et notamment sur le BDNF, en constatant qu'un entraînement sur cybercycle (exergame) avait engendré un taux plus élevé de BDNF ainsi que de meilleures performances exécutives comparés à un entraînement standard sur cycle, sans différence d'intensité, de fréquence et de type d'exercice physique entre les deux programmes. Ces résultats intéressants incitent à penser que les différences de taux de BDNF proviennent de la demande cognitive enrichie par l'environnement virtuel immersif, et confirment que les facteurs neurotrophiques sont diffusés via une variété de voies qui peuvent différer entre l'activité physique et l'activité cognitive et semblent s'additionner dans le cadre des interventions combinées comme les exergames (Walsh & Tschakovsky, 2018). La récente méta-analyse de Stojan et Voelcker-Rehage (2019) révèle qu'à ce jour, trop peu d'études sur les exergames comportent de telles données neurophysiologiques, mais toutes constatent des adaptations cérébrales bénéfiques. Les exergames permettent une augmentation du volume de l'aire frontale (Anderson-Hanley et al., 2018), un niveau plus élevé de BDNF (Anderson-Hanley et al., 2012, 2018), un fonctionnement cérébral plus proche des jeunes individus (Chuang et al., 2015 ; Schättin et al., 2016) et s'inscrivent comme des stratégies d'entraînement prometteuses pour cibler l'activité pré-frontale des plus âgés (Schättin et al., 2016). Un approfondissement des mécanismes neurophysiologiques sous-jacents à ces effets fait partie de mes perspectives de recherche, en collaboration avec Arnaud Boutin, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences du Sport de Paris Saclay. Pour ce qui est de l'observation des modifications structurelles du cerveau (e.g., volume cérébral, épaisseur corticale), un projet de recherche utilisant l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) anatomique est en construction avec l'Institut du Cerveau et de la Moelle Epinière (ICM). Pour ce qui est des modifications fonctionnelles du cerveau, et notamment de l'évolution du taux de BDNF, mon laboratoire de recherche, le CIAMS (Complexité, Innovations, Activités Motrices et Sportives) est en cours d'accréditation pour avoir le droit de réaliser des prises de sang au sein du laboratoire. Il sera alors envisageable de réaliser des analyses du taux de BDNF circulant, à la suite de différents programmes d'intervention, afin d'observer la potentielle plus-value des exergames sur la sécrétion de ce facteur neurotrophique.

Vis-à-vis de l'intensité de pratique, il serait également intéressant d'observer si une pratique naturelle des exergames, sans fixer d'objectifs d'intensité à atteindre et à maintenir par le pratiquant, engendre davantage d'effort volontaire que l'activité physique plus traditionnelle. Les travaux de van Schaik et collaborateurs (2008) ont souligné que les personnes âgées préféraient pédaler en situation d'exergames qu'en situation plus traditionnelle sur vélo stationnaire et Annesi et Mazas (1997) ont démontré un engagement physique plus important en situation d'exercices physiques en réalité virtuelle. Cet objectif de recherche fait écho à l'approche spontanée déjà abordée au sein de ce document, et qui à mes yeux reste enrichissante car assez représentative de ce que l'on pourrait attendre des personnes qu'il faut inciter à bouger. Maintenir une pratique régulière en situation de laboratoire, avec un programme bien défini, contrôlé, en appliquant « la recette idéale » des bienfaits cognitifs, tout ça sous le contrôle d'une équipe de chercheurs semble plus facile à mettre en place et assez loin d'une pratique plus naturelle, rythmée par l'unique volonté et motivation du pratiquant livré à lui-même. De plus, certains travaux laissent penser que l'intensité de pratique n'est pas une condition sine qua none pour déclencher des bienfaits sur la cognition des personnes âgées. Ruscheweyh et ses collaborateurs ont observé des effets bénéfiques de l'activité physique sur la structure cérébrale de l'aire frontale, indépendamment de l'intensité de pratique (Ruscheweyh et al., 2011). Des conclusions similaires sont défendues par les travaux de Lövdén et collaborateurs, qui ont observé une augmentation du volume de l'hippocampe après un exergame à très basse intensité (marche lente) (Lövdén et al., 2012). Par conséquent, la relation entre intensité physique et effets cognitifs reste à explorer, notamment à travers la pratique des exergames.

III. 2. 2 ...sur les capacités de transfert

Suite à l'effet de transfert que nous avons observé entre la pratique d'exergames et la performance sur des tests cognitifs (Maillot et al., 2012b), notamment au niveau des fonctions exécutives, nous souhaiterions apporter des preuves supplémentaires à l'hypothèse explicative d'une sollicitation similaire en termes de processus cognitifs entre les tâches d'entraînement et les tâches de transfert via les tests neuropsychologiques (Dahlin, et al., 2008 ; Jonides, 2004 ; Persson & Reuter-Lorenz, 2008). Stojan et Voelcker-Rehage, en 2019 soulignent la nécessité d'évaluer la demande cognitive des exergames en corrélant les performances en exergame avec les performances sur les tests cognitifs standards et soulignent qu'à ce jour, une seule étude s'en est préoccupée. En première approche de cet objectif, une étude exploratoire menée par un étudiant de master, a alors cherché à observer à travers un design transversal et corrélationnel, la sollicitation des fonctions exécutives lors de la pratique des exergames. Nous avons étudié si

les performances réalisées en exergame étaient associées aux fonctions exécutives et si ce lien était sensible à l'âge des participants et aux types de jeux pratiqués. Pour cela, deux groupes de sujets ont été constitués, à savoir un groupe de sujets jeunes (25 sujets, 13 hommes, $M_{\text{age}} = 22.88$, $ET = 3.19$) et un groupe de sujets âgés (25 sujets, 14 hommes, $M_{\text{age}} = 72.72$, $ET = 3.21$). Ces deux groupes ont été testés sur plusieurs fonctions exécutives (i.e., inhibition, flexibilité, planification) puis ont pratiqué trois jeux sur la Nintendo Wii (session de 10 minutes par jeu). Deux jeux sont catégorisés comme exécutifs car leurs propriétés intrinsèques font qu'ils sollicitent l'inhibition, la flexibilité et/ou la planification. Le dernier jeu est jugé neutre au niveau de la sollicitation spécifique des fonctions exécutives. Les résultats révèlent une corrélation moyenne avec une tendance à la significativité entre le test d'inhibition et l'un des deux jeux catégorisés comme exécutifs (le jeu des billes) chez les jeunes ($r = 0.37$, $p = 0.07$) et une corrélation entre le test de planification et le second jeu exécutif (jeu des têtes) chez les plus âgés ($r = 0.53$, $p < .01$). Ce timide résultat pourrait laisser présager que le lien performance-fonctions exécutives est sensible à l'âge des participants ainsi qu'aux types de jeux pratiqués. Pour autant, cette étude ne confirme pas assez l'existence d'une sollicitation similaire des processus cognitifs entre les tâches d'entraînement et les tâches de transfert (via les tests neuropsychologiques) (Dahlin et al., 2008 ; Jonides, 2004 ; Persson & Reuter-Lorenz, 2008). Notre futur objectif sera d'appréhender cette même problématique à travers une approche davantage neurologique. Nous chercherons à observer sous un angle différent si des jeux en exergame peuvent solliciter les mêmes régions cérébrales, (en l'occurrence ici le cortex préfrontal) (Kennedy & Raz, 2009) que les fonctions exécutives, à partir d'un système d'électroencéphalographie (EEG) qui permettra une analyse de l'activité cérébrale. Mon laboratoire de rattachement, le CIAMS a fait l'acquisition d'un EEG nouvelle génération avec des électrodes actives qui devraient permettre de réduire le bruit du signal dû aux mouvements engendrés par les exergames. Une étude exploratoire sur la faisabilité de ce projet sera mise en place prochainement en collaboration avec Arnaud Boutin.

En dehors de la capacité des exergames à réduire chez les seniors les barrières à l'engagement dans un style de vie actif, nous pensons que cette nouvelle catégorie de pratique revêt un véritable intérêt pour le maintien de l'autonomie fonctionnelle. Les travaux de recherche dans le domaine de l'environnement virtuel appliqué aux seniors sont encore à leur balbutiement, mais il est plausible d'envisager qu'avec de meilleures connaissances des répercussions de cet outil sur les activités du quotidien, alors les interventions pourraient être plus adaptées. D'un point de vue très appliqué, une question reste encore sans réponse claire, et mérite à nos yeux d'être approfondie : est-il possible pour une personne âgée de transférer concrètement des compétences acquises dans un environnement virtuel (via des exergames) vers une situation dans un environnement réel ? L'étude du transfert des bénéfices d'un entraînement vers

d'autres tâches non entraînées directement et surtout vers les activités de la vie quotidienne représente un défi majeur (Angel & Isingrini, 2015 ; Belleville & Boller, 2016). Déjà en 2008, Basak et ses collaborateurs, mais plus récemment Zhu et collaborateurs (2016) et Bruderer-Hofstetter et collaborateurs (2018) dans leurs méta-analyses, ouvrent leurs articles sur de nécessaires perspectives de recherche sur les transferts de programmes enrichis sur les activités de la vie quotidienne (i.e., « *real world tasks* »), au delà de situations de laboratoire. Ces activités (i.e., IADL ; *Instrumental Activities of Daily Living*) définies comme des activités quotidiennes intentionnelles et complexes, nécessitant des processus cognitifs de haut niveau (Sikkes & Rotrou, 2014) sont trop rarement les variables d'étude principales des programmes d'intervention (Law et al., 2014) alors qu'elles sont déterminantes au maintien de l'autonomie. Benzing et Schmidt, en 2018, soulignent également que ce type de transfert du virtuel vers le réel reste pour l'instant incertain. Nous pensons que l'usage des jeux vidéo pourrait constituer un excellent outil pour l'apprentissage ou le maintien d'habiletés nécessaires à la vie quotidienne, en particulier pour des populations fragiles et en perte d'autonomie. Gopher et ses collaborateurs (1994) ont constaté que les habiletés de pilotage de jeunes étudiants (Israeli Air Force) étaient améliorées par un jeu vidéo de simulation de vol. Est-ce que ce même principe de transferts, mais dans des domaines d'habiletés plus proches de la vie de tous les jours, peuvent s'opérer chez les personnes âgées ? En partie dans cette optique, un protocole expérimental et exploratoire, présenté comme la deuxième étude de thèse de Pauline Maillot mais non publié à ce jour, a cherché à faire apprendre une tâche de putting au golf³² à partir de deux environnements différents (apprentissage en condition réelle versus virtuelle), et ce, pour deux groupes d'âge (adultes âgés versus jeunes). Il s'agissait alors d'étudier si un effet de transfert du virtuel au réel était observable, mais également d'identifier si l'expérience en virtuel pouvait venir concurrencer les performances de groupes entraînés en situation réelle. Pour cela, 32 jeunes adultes et 33 adultes âgés ont réalisé une 1^{ère} performance initiale de putting en condition réelle puis ont été répartis soit dans le groupe « apprentissage en condition réelle », soit dans le groupe « apprentissage en condition virtuelle ». Après 12 blocs d'apprentissage virtuels ou réels (représentant 360 essais), chaque groupe a réalisé à nouveau une prise de performance en putting réel. Les résultats révèlent que seuls les adultes jeunes parviennent à transférer les acquisitions issues de la condition virtuelle vers la condition réelle, mais que la qualité du transfert n'est pas parfaite puisque les jeunes de la condition virtuelle ne parviennent pas à concurrencer leurs homologues de la condition réelle. Aucun effet significatif de transfert virtuel-réel n'a pu être observé chez les adultes âgés. D'autre part, cette étude que l'on pourrait qualifier de préliminaire n'a pas permis d'étudier le transfert d'apprentissage vers une

³² Le putting au golf n'a bien évidemment pas été choisi pour son utilité dans la vie de tous les jours mais davantage pour la possibilité de proposer la situation à la fois via un exergame déjà existant et une situation facile à reproduire en réel en laboratoire.

application écologique, car le putting au golf n'est pas une activité de la vie quotidienne. Par souci de continuité avec l'étude principale de cette thèse, nous avons voulu construire un protocole reprenant des jeux disponibles sur la console Nintendo Wii, tout en proposant une réponse motrice associée à l'environnement virtuel la plus similaire possible au geste moteur réalisé en réel. L'objectif de cette expérimentation était donc de fournir des conclusions préliminaires à l'étude d'un transfert davantage orienté vers les activités de la vie quotidienne. En conclusion, dans la perspective d'appréhender l'étendue des potentialités du transfert d'apprentissage issu des exergames vers les habiletés fonctionnelles du quotidien, il convient de poursuivre les expérimentations. Même si le protocole initial cherchait un transfert le plus proche possible entre la tâche réelle et la tâche virtuelle, nos résultats semblent davantage nous orienter vers l'étude d'un transfert éloigné³³. Il semble alors intéressant d'aller creuser autour de la théorie de Geusgens et de ses collaborateurs (2007) qui stipule que pour qu'un transfert à la vie quotidienne se produise, la personne entraînée doit : (i) connaître ce qu'est le transfert et son fonctionnement, (ii) prendre connaissance de son propre fonctionnement avant l'apprentissage de stratégies, (iii) être capable de juger quand et où le transfert peut être appliqué, (iv) apprendre des connaissances générales étant donné qu'elles sont plus facilement transférables que celles qui sont spécifiques, (v) pratiquer à travers des situations variées, et (vi) être confrontée à des situations de transfert pendant l'apprentissage. Il semble donc nécessaire de proposer un apprentissage plus conscient des mécanismes sous-jacents aux acquisitions, notamment par l'intermédiaire de verbalisations plus fréquentes et de situations d'entraînement variées, afin d'observer si les exergames peuvent s'avérer utiles pour stimuler et/ou maintenir le plus longtemps possible l'autonomie fonctionnelle des plus âgés. La littérature nous indique également que les capacités de transfert éloigné peuvent être amplifiées si les situations d'entraînement proposées engendrent des tâches à priorité variable (i.e., changement fréquent de priorité entre les tâches) (e.g., Churchill et al., 2002).

III.3. A la recherche des indicateurs du « programme idéal »

III. 3. 1 Intérêt de poursuivre sur les exergames

Les perspectives de recherche qui m'attirent le plus reposent sur l'approfondissement de l'outil exergame au profit de la santé cognitive des plus âgés. De nombreux travaux soulignent la pertinence d'un outil combinant stimulation physique et cognitive. En 2004, Colcombe et ses collaborateurs amorcent en perspective de recherche la combinaison intéressante d'une pratique aérobie avec un entraînement cognitif. Mettre en place un entraînement cognitif dans un environnement cortical favorable (grâce à l'aérobie) pourrait être une approche très

³³ Des résultats complémentaires à l'étude ont en effet révélé que les fonctions sollicitées par les deux types de tâche étaient très différentes.

intéressante. La pratique aérobie favorisant la plasticité, elle pourrait augmenter l'effet de l'entraînement cognitif sur les personnes âgées. Erickson, Hillman et Kramer en 2015 terminent leur article sur les bienfaits de l'activité physique sur la cognition en abordant la nécessité de comprendre comment combiner au mieux l'entraînement cognitif ou les activités intellectuelles avec l'activité physique dans un objectif d'améliorer la cognition et la santé cérébrale. Ils ouvrent alors des perspectives vers les exergames. Fissler et collaborateurs en 2013 défendent l'intérêt de développer les approches combinant des tâches sollicitantes physiquement et cognitivement, pour induire des effets multimécanismes qui pourraient interagir positivement dans le cadre d'une approche synergique. Deux revues de littérature confirment cet intérêt en insistant sur la nécessité de développer cette approche lors des prises en charges cliniques afin de maintenir les personnes âgées autonomes en retour à domicile (Pichierri et al., 2012 ; Segev-Jacobovski et al., 2011). En 2018, Benzing et Schmidt résument le large potentiel des exergames à travers une représentation graphique des différentes dimensions concernées par les exergames en termes de caractéristiques qualitatives et quantitatives des exercices, de fonctions ciblées, de champ d'application et de population (Figure 27).

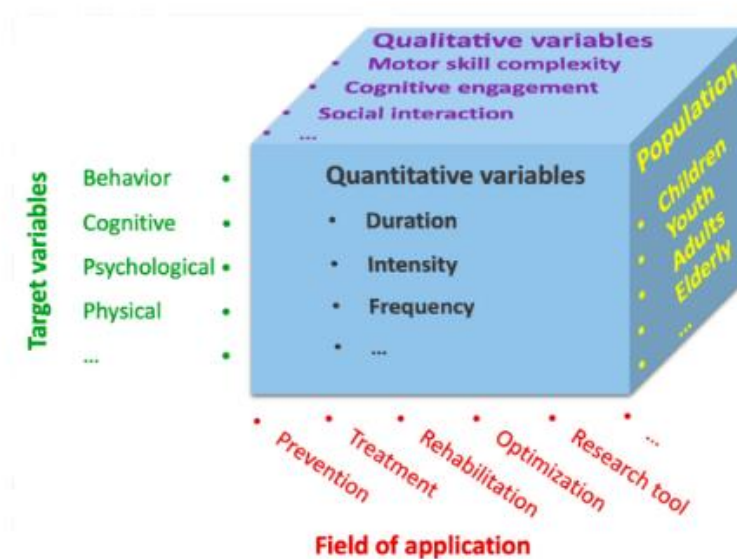


Figure 27 : Représentation des différentes dimensions associées aux exergames, tirée de Benzing et Schmidt, 2018, p.2.

Recentement, plusieurs auteurs annoncent que chez les personnes âgées saines, il y a de plus en plus de preuves que les programmes combinés (incluant les exergames) sont supérieurs aux programmes simples, avec un effet plus important pour les interventions simultanées tels les exergames, comparées aux interventions en séquentiel (Bruderer-Hofstetter et al., 2018 ;

Karssemeijer et al., 2019 ; Zhu et al., 2016). Bamidis et ses collaborateurs (2014) argumentent dans le même sens, en stipulant qu'un entraînement physique et cognitif simultané devrait engendrer davantage de bénéfices qu'un entraînement simple, d'autant plus lorsque le programme propose un environnement challengeant socialement et attractif comme les exergames. Soltani, Figueiredo et Vilas-Boas, en 2020 décrivent les exergames comme un outil permettant de combattre la sédentarité et d'administrer de l'activité physique d'une nouvelle façon, à travers une expérience accessible, sécuritaire et possible à domicile. L'American College of Sport Medicine les définit même comme le futur de l'activité physique (Benzing & Schmidt, 2018). Ils permettent également de faire face à certaines barrières de pratique (comme le déplacement, la météo, la lassitude). Les personnes âgées apprécient pratiquer les exergames, ce qui facilite l'investissement à long terme dans une pratique physique (Moholdt et al., 2017). La revue de littérature de Gallou-Guyot et ses collaborateurs en 2020 le confirme en soulignant que le sentiment de sécurité, l'attraction et le plaisir de jouer sont élevés et le taux d'abandon très bas dans les études basées sur des programmes d'intervention en exergame. Cet outil est aussi accessible et apprécié par les publics souffrant de démence (Meekes & Stanmore, 2017 ; Colombo et al., 2012). Cependant, il reste beaucoup de choses à étudier afin de proposer les programmes les plus efficaces et adaptés possibles. À cette fin, une récente littérature laisse percevoir plusieurs caractéristiques qu'il semble intéressant de respecter.

III. 3. 2. Caractéristiques des participants

Une des priorités de recherche est de déterminer le type ou la combinaison d'exergames qui permet le plus de bénéfices cognitifs, en tenant compte de plusieurs caractéristiques individuelles telles que l'âge (e.g., Zhu et al., 2016), le niveau de réserve cognitive (e.g., Boller & Belleville, 2016), le profil hormonal (e.g., Barha et al., 2017a ; Berchtold et al., 2001) ou encore les habitudes de vie (Nagamatsu et al., 2014). En 2019, Bherer et ses collaborateurs démontrent que la $VO_2\text{max}$ (et donc les pratiques aérobies) permet d'expliquer l'ensemble des améliorations cognitives des plus de 70 ans, mais que ce n'est pas applicable pour les moins de 70 ans. Il semblerait en effet qu'entre ces deux groupes d'âge, l'activité physique n'engendre pas les mêmes bienfaits, avec les mêmes mécanismes. La méta-analyse de Zhu et collaborateurs, en 2016 révèle également que les programmes combinés engendrent davantage de bénéfices cognitifs dans les études présentant les publics les plus âgés. Les auteurs expliquent cette tendance par un niveau cognitif de départ plus bas pour ces participants. Des approfondissements sont donc nécessaires sur le type de programmes à mettre en place en fonction du profil cognitif des participants. D'un côté, Stojan et Voelcker-Rehage, en 2019 soulignent que les plus sédentaires ou les plus âgés (au-delà de 80 ans) devraient montrer des

bénéfices avec un petit nombre de séances, avec des programmes relativement bas en demande physique et cognitive (Voelcker-Rehage, Godde & Staudinger, 2011), à cause de leur niveau de départ plus diminué. A l'inverse, des participants plus jeunes et actifs devraient avoir besoin de davantage de séances et d'une stimulation plus élevée pour augmenter leur performance cognitive. Le profil des participants influence donc les bénéfices. Ainsi, il semblerait que ceux avec un niveau plus bas au départ vont davantage bénéficier des entraînements que ceux avec un niveau plus élevé. Cette idée de « marge de manœuvre » plus importante chez les personnes davantage diminuées est également reprise par Anderson-Hanley et ses collaborateurs en 2018, lors de leurs travaux avec des personnes atteintes de MCI. Cependant, d'autres travaux soulignent que si les atteintes cognitives sont plus sévères, les programmes d'intervention sont moins efficaces (e.g., Bamidis et al., 2015). Les résultats que nous avons obtenus auprès des participants atteints de T21 (II.2.2.3) semblent également aller dans ce sens. Le profil cognitif du participant semble donc être un paramètre à prendre en compte et à approfondir. Il convient de déterminer où se situe la bascule au niveau de la sévérité des atteintes cognitives quant à l'expression des bénéfices des stimulations, et quelles adaptations de programmes il est nécessaire de mettre en place. Boller et Belleville (2016) confirment l'importance du profil cérébral du participant quant aux bénéfices engendrés. Le niveau de réserve va faire que les personnes vont répondre différemment à un programme, en fonction du type d'entraînement donné. Ainsi, les personnes avec une réserve élevée bénéficieront davantage d'un entraînement stratégique, alors que ceux avec une réserve plus basse tireront profit d'un entraînement cognitif répétitif. D'après les travaux d'André et ses collaborateurs, (2018), le niveau de réserve pourrait également déterminer l'implication dans un programme. Ceux avec les meilleures stratégies internes de mémoire (mémoire prospective) et de contrôle attentionnel (inhibition) seront probablement les plus impliqués dans la pratique. Des traits de personnalité peuvent également se révéler influents. Certains joueurs cherchent à battre leur score, alors que d'autres s'en moquent. Le storyboard du jeu a donc son importance pour engendrer le plaisir et la persistance, et peut en limiter ou faciliter l'utilisation (Wang & Goh, 2017). Il est important d'ajuster les programmes en fonction des pratiquants et de leur objectif, pour éviter un surmenage physique ou cognitif, ce qui pourrait engendrer des effets nuisibles (Lampit, Hallock & Valenzuela, 2014). Si l'intensité physique ou la demande cognitive est trop élevée (surtout pour les participants cliniques), la motivation à s'entraîner et l'adhésion risquent d'en pâtir et de réduire l'efficacité du programme.

Plusieurs travaux révèlent également qu'il convient de tenir compte des taux d'hormones sexuelles (présentes et passées, e.g., Barha et al., 2017a) ainsi que des prédispositions génétiques des individus (Erickson, Hillman & Kramer, 2015). Il a notamment été démontré que le polymorphisme du BDNF module l'effet de l'exercice sur les fonctions cognitives (pour revue,

Canivet & Audiffren, 2015). Certains polymorphismes expliqueraient les différences de plasticité et de longévité (Deary et al., 2004 ; Lindenberger et al., 2008). Notamment, le gène ApoE peut modérer la capacité à déclencher la cascade d'effets neurobiologiques engendrée par les stimulations physiques et cognitives (Raichlen & Alexander, 2014). Il n'y a pas que les bienfaits de la stimulation physique qui fluctuent en fonction de caractéristiques individuelles. Fissler et collaborateurs en 2013 rappellent que les facteurs génétiques (dopamine, gène APOE et gène BDNF), l'hormone de croissance, le sexe, et la personnalité (Wang et al., 2009) influencent également les effets des stimulations cognitives et sociales. Par exemple, il se peut qu'une catégorie de pratiquants profitera davantage de la stimulation physique, due à un gène particulier, alors qu'une seconde catégorie de pratiquants profitera davantage de la stimulation sociale due à un trait de personnalité et qu'une troisième catégorie de pratiquants profitera davantage d'une stimulation cognitive, due à un gène lié à la dopamine (Bellander et al., 2011). Par conséquent, les programmes combinant cette triple approche (cognitive, physique et sociale), comme par exemple le Tai-chi, la danse ou les exergames semblent tout à fait pertinents pour toucher un public le plus large possible.

Il conviendrait donc de construire des programmes de stimulation en exergame en fonction des caractéristiques individuelles des personnes âgées. L'approche « *One-size-fits-all* » (i.e., taille unique) semble à laisser dorénavant de côté au profit d'une personnalisation des programmes (Barha et al., 2017b ; Herold et al., 2018). Herold et ses collaborateurs (2018) concluent leur article en ouvrant sur la nécessité, à l'avenir, de réaliser des groupes de participants en fonction de leur profil physique (e.g., niveau cardiovasculaire), leur profil moteur (e.g., niveau de coordination), leur profil cognitif (e.g., niveau des capacités mnésiques), leur profil génétique, leur âge, leur sexe, et leur statut psychosocial (e.g., motivation, stress). Plus nous apprendrons sur ces facteurs, plus nous serons efficaces dans le design et la confection des interventions pour faire au mieux pour un maximum de publics.

III. 3. 3. Caractéristiques générales du programme en exergame

Pour être plus efficace sur la cognition des personnes âgées, plusieurs travaux annoncent que les programmes combinés et donc multimodaux sont très intéressants. La plupart du temps, il s'agit d'une combinaison activité physique aérobie et cognition (pour revue, Stojan & Voelcker-Rehage, 2019), mais certains articles soulignent la pertinence d'autres dimensions. En perspectives de son article de 2015, Barnes annonce que pour maximiser les bénéfices, il semble pertinent à l'avenir de proposer des exercices qui sollicitent apprentissage, coordination, plusieurs groupes musculaires, et une stimulation cognitive continue. Dans une approche

multimodale très complète, Montero-Odasso et ses collaborateurs en 2018 présentent un protocole d'intervention actuellement en cours (e.g., SYNERGIC TRIAL), combinant jusqu'à quatre dimensions à savoir activité aérobie, renforcement musculaire, entraînement cognitif et prise de vitamine D. Anderson-Hanley et ses collaborateurs (2012) annoncent également l'importance d'interventions multimodales plus convaincantes, motivantes qui permettent d'adresser les multi déficits liés au manque de stimulation et à l'inactivité physique des personnes âgées. L'intérêt de la pratique en groupe est également mis en lumière dans la méta-analyse de Zhu et collaborateurs (2016). L'engagement social a en effet déjà été associé à la neurogénèse et à de meilleures fonctions cognitives (Amieva et al., 2010), ainsi qu'à une stratégie de pratique plus efficace avec un partenaire d'entraînement (Rebok et al., 2007).

La simultanéité des programmes semble également importante. En effet, Fissler et ses collaborateurs en 2013 soulignent que plusieurs travaux ayant combiné entraînement cognitif et activité physique n'ont pas montré d'effet synergique (Barnes et al., 2013 ; Legault et al., 2011, Shatil, 2013). L'explication proviendrait du fait que les deux composants du programme n'étaient pas simultanés. Fissler indique que la simultanéité est une composante importante de son modèle sur la plasticité facilitée et guidée³⁴ (cf. III.2.1), afin d'observer des effets d'interaction. La facilitation de la plasticité cognitive induite par la stimulation physique serait plus importante pendant ou juste après l'exercice, en parallèle de l'augmentation du taux de BDNF, qui se ralentirait une heure après l'exercice (Knaepen et al., 2010). Zhu et ses collaborateurs (2016) vont dans le même sens en annonçant que la fenêtre de temps pour bénéficier des effets d'interaction semble assez restreinte. Plusieurs chercheurs confirment la nécessité de la simultanéité (e.g., Bherer et al., 2020 ; Gheysen et al., 2018 ; Tait et al., 2017 ; Zhu et al., 2016). Cette simultanéité place également les participants en situation de double-tâche, ce qui, d'après plusieurs travaux (e.g., Anguera et al. 2013 ; Bherer et al., 2005, 2008, 2020 ; Li et al., 2010) permettrait davantage aux âgés de transférer leur apprentissage sur de nouvelles tâches. Colcombe et ses collaborateurs en 2004 vont également en ce sens en annonçant que, même si la plupart des effets des modérateurs de l'âge étaient spécifiques au domaine concerné (e.g., une expertise en dactylographie ne va pas aider à mieux conduire une voiture), des transferts vers d'autres tâches non entraînées étaient davantage observés lors de programmes en double tâche. Il serait ainsi appris aux plus âgés d'allouer de façon flexible leurs ressources à différents stimulus, ce qui engendrerait des bénéfices plus larges qu'avec des programmes standards, sur des processus cognitifs de haut niveau.

L'interactivité semble être une autre caractéristique intéressante à mettre en place. En effet, Barcelos et al. en 2015 et Anderson-Hanley et al. en 2018, défendent l'idée que l'interactivité

³⁴ *Guided plasticity facilitation framework*, Fissler et al., 2013

entre les stimulations physique et cognitive est importante pour engendrer des bénéfices cognitifs plus importants chez les personnes âgées. L'interactivité produit de meilleurs bénéfices cognitifs, par un effet synergique qui magnifie les bénéfices (Anderson-Hanley et al., 2018). Dans le même sens, Adcock et ses collaborateurs en 2020, annoncent que pour prévenir les déclinés liés à l'âge et maintenir la santé cérébrale, une interaction active continue avec l'environnement qui sollicite les systèmes cognitifs, physiques et sensoriels est nécessaire. La pertinence de cette interactivité fait également écho à la théorie de Herold et al. (2018) reprise par Torre et ses collaborateurs (2021) et Temprado (2021), qui incite à développer davantage des stimulations engendrant des connections entre les demandes physiques, motrices et cognitives. Cette théorie défend le « *moving while thinking* » (i.e., bouger en réfléchissant) plutôt que le « *thinking while moving* » (i.e., réfléchir en bougeant). Cette approche renverrait à la conception de l'homme chasseur-cueilleur qui alliait mouvement et réflexion pour se nourrir et survivre (Raichlen & Alexander, 2017). Pour Herold et ses collaborateurs (2018), incorporer des tâches cognitives aux actes moteurs, plutôt que de les présenter séparément, est l'approche la plus prometteuse pour améliorer la réserve cognitive. La tâche cognitive « incorporée » devient alors un pré-requis pertinent à la réussite de la tâche cognitivo-motrice. De plus, ce genre de stimulations est plus proche des situations de la vie quotidienne (e.g., il est assez rare de devoir résoudre une opération mathématique en marchant, alors qu'il est plus fréquent d'avoir à déambuler dans un supermarché en se rappelant les rayons par lesquels on doit passer). Cette proximité avec des situations réelles peut générer davantage d'adhésion à la pratique et donc davantage de bénéfices. En effet, les bénéfices sont modérés par les attentes des participants et l'importance perçue du programme (e.g., Fissler et al., 2013 ; Herold et al., 2018). Les exergames apparaissent donc comme une option pertinente, motivante et attrayante pour cela. Tout comme la danse ou le tai-chi (e.g., Gheysen et al., 2018 ; Predovan et al., 2019 ; Vrinceanu et al., 2019), les exergames proposent des situations combinant naturellement stimulations physiques et cognitives interactives (Herold et al., 2018).

Pour résumer, les caractéristiques générales intéressantes à mettre en place lors des futurs programmes d'intervention sont la collectivité, la multimodalité, la simultanéité et l'interactivité. Il convient dorénavant de rentrer davantage dans le détail des caractéristiques des stimulations physiques et cognitives.

III.3.4. Caractéristiques de la stimulation physique

Même si les stimulations en aérobie dominent dans une large partie des publications sur le sujet, il semblerait qu'elles n'expliquent pas tout et que la multimodalité soit pertinente également ici. Comme présenté précédemment dans ce document, Bherer et ses collaborateurs en 2019 montrent que la santé cardiovasculaire explique toutes les améliorations cognitives des plus de

70 ans (sur un test de vitesse de traitement), mais n'explique pas toutes les améliorations exécutives chez les moins de 70 ans. Cette étude souligne donc l'intérêt d'approfondir d'autres types de programmes que ceux basés sur l'aérobic. De plus en plus de travaux soutiennent que les programmes de renforcement musculaire peuvent également se montrer efficaces sur la cognition des plus âgés (e.g., Bherer et al., 2013 ; Kelly et al., 2014 ; Marston, 2019). Colcombe et ses collaborateurs, en 2004 expliquent que les entraînements en renforcement musculaire sont reconnus pour augmenter le taux d'hormone de croissance (*Human Growth Hormone*, HGH) et d'IGF-1, qui ont un effet positif sur la croissance neuronale et la performance (e.g., Carro et al., 2001, Cotman & Berchtold, 2002 ; Godfrey et al., 2003). Par conséquent, il apparaît pertinent de combiner stimulation aérobic et renforcement musculaire, les hormones HGH et IGF-1 pouvant aider à accentuer les effets d'un programme aérobic chez les individus âgés. De plus, la récente meta-analyse de Marinus et collaborateurs (2019) argue en faveur de programmes de renforcement ou de programmes combinés renforcement/aérobic pour engendrer une augmentation du taux de BDNF dans le sang. Barnes, en 2015, défend le principe que l'exercice simple n'est pas aussi bénéfique qu'un programme multimodal proposant des exercices aérobics, de renforcement musculaire, d'équilibre et de souplesse.

Audiffren et ses collaborateurs (2011), Hotting et Roder (2013), et Temprado (2021) défendent des conclusions similaires, en préconisant une sollicitation de la filière aérobic, de la résistance musculaire mais soulignent également l'intérêt d'ajouter des situations nécessitant des habiletés motrices complexes et de la coordination. Des programmes basés sur la motricité générale (i.e., *Gross Motor Activities*, GMA) ont en effet montré des résultats intéressants sur la cognition (e.g., Berryman et al., 2014 ; Gregoire et al., 2019 ; Pesce, 2012). En se basant sur plusieurs travaux (e.g., Niemann, Godde & Voelcker-Rehage, 2014 ; Voelcker-Rehage, Godde & Staudinger, 2011) ainsi que sur la méta-analyse de Northey et al (2018), Torre et ses collaborateurs (2021) soutiennent que de tels entraînements sont pertinents pour améliorer les fonctions cognitives des plus âgés, et avancent l'hypothèse de la différenciation cognitivo-motrice pour expliquer en partie ces effets. Cette hypothèse stipule la réduction avec l'âge du nombre de réseaux de neurones spécifiques asservis à une fonction précise, se traduisant par des liens plus forts entre les domaines cognitifs, sensoriels et moteurs (e.g., Schafer, Huxhold & Lindenberger, 1997 ; Sleimen-Malkoun, Temprado & Berton, 2013). Chez les personnes âgées, les fonctions exécutives seraient donc davantage sollicitées lors de situations motrices complexes, comparées aux plus jeunes. Par conséquent, il semble intéressant d'intégrer ce type de sollicitations afin d'accroître les bénéfices cognitifs des plus âgés. Récemment, d'autres formes d'intervention physique font également leur preuve sur la santé cognitive des plus âgés, à savoir les programmes « *mind body* » comme la danse, la méditation ou le tai-chi (e.g., Chan et al., 2019 ; Meng et al., 2020 ; Mortimer et al. 2012 ; Predovan et al., 2018 ; Vranceanu et al., 2019). Ce type de pratique est jugé

pertinent car il combine une stimulation physique tout en étant challengeant cognitivement (e.g., Taylor-Piliae et al., 2010 ; Verghese, 2006) et il peut réguler le stress qui affecte les capacités mnésiques des personnes âgées (Vranceanu et al., 2019).

Si l'on résume donc les caractéristiques intéressantes à mettre en place dans la dimension physique d'un programme, il s'avère que les interventions multimodales stimulant la filière aérobie et le renforcement musculaire, tout en proposant une approche « *mind body* » et/ou sollicitant les habiletés motrices générales semblent celles à approfondir.

III. 3. 5. Caractéristiques de la stimulation cognitive

La littérature fait ressortir plusieurs caractéristiques intéressantes à mettre en place vis-à-vis de la dimension cognitive d'un programme. Parmi elles, l'aspect challengeant des tâches cognitives à réaliser est mis en lumière dans plusieurs études. Anguera et ses collaborateurs (2013) constatent qu'un jeu vidéo dans un environnement complexe avec des interférences engendre davantage de bénéfices cognitifs et neuronaux. Gheysen et ses collaborateurs, dans leur méta-analyse (2018) annoncent que le challenge cognitif proposé par le programme est plus important pour observer des effets significatifs sur la cognition que le nombre de séances. Barcelos et ses collaborateurs (2015) soulignent, eux, que les exergames avec haute demande cognitive vont engendrer des effets plus importants. Ils constatent notamment dans leur étude ACES (*Aerobic and Cognitive Exercise Study*) que les exergames qui se basent sur les jeux de score (plus challengeants) génèrent plus de bénéfices que les exergames basés sur la promenade. Cependant, ce résultat est à approfondir car il n'est pas confirmé par Anderson-Hanley et ses collaborateurs en 2018, sur des personnes âgées atteintes de MCI. Cela semble indiquer à nouveau que le profil cognitif des participants est à prendre en compte pour mettre en place des programmes efficaces.

La complexité de la stimulation cognitive peut également se mettre en place via la variabilité des situations proposées. L'entraînement sur une variété de tâches plutôt que sur un seul type de tâche engendrerait la généralisation des bénéfices et ainsi de meilleurs transferts sur des tâches non entraînées (Fissler et al., 2013). Il faut cependant que cette variabilité ne concerne pas uniquement le nombre de tâches proposées mais également les processus sollicités par les tâches et les stimuli (Thorell et al., 2009). Plus un programme d'entraînement est associé à une variété de combinaisons de processus impliqués, plus l'effet de transfert observé serait important (e.g., Green & Bavelier, 2008 ; Stuss et al., 2007). De plus, les tâches challengeantes et variables stimulent la motivation intrinsèque (Ryan & Deci, 2000) propice à l'adhésion à long terme. Et il a été montré que l'état psychologique lié à la motivation facilite la plasticité cérébrale (Bao et al., 2001 ; Kang et al., 2009).

Cette variabilité peut également se refléter à travers les modalités de réalisation des tâches cognitives proposées lors des programmes d'intervention. En effet, l'apprentissage en priorité variable (contrairement à l'entraînement en priorité fixe) a engendré davantage de bénéfices, avec des transferts plus importants sur des tâches non entraînées et une meilleure rétention (e.g., Colcombe et al., 2004 ; Kramer et al., 1999). Le fait que l'entraînement en priorité variable ait montré une généralisation des bienfaits sur d'autres tâches suggère que les personnes âgées peuvent gagner en efficacité dans une habileté cognitive plus générale que celle travaillée. Le type d'entraînement engendrerait donc des effets cognitifs et cérébraux différents. Cet argument est également soutenu par les travaux de Belleville, notamment à travers le modèle INTERACTIVE (Belleville et Boller, 2016) qui indique que les modalités de l'entraînement (répétitif ou stratégique) modulent les changements neuronaux induits par l'entraînement. Un entraînement de type répétitif permettrait une diminution des activations et donc une augmentation de l'efficacité neuronale, alors qu'un entraînement de type stratégique engendrerait de nouvelles activations et donc un mécanisme de compensation (Boller & Belleville, 2016). Comme vu précédemment, le niveau de réserve des participants va faire que les bénéfices dépendront du type d'entraînement proposé. Les personnes âgées avec une réserve cérébrale élevée bénéficieront davantage d'un entraînement stratégique, alors que ceux avec une réserve plus basse préféreront un entraînement de type répétitif. Ces paramètres semblent importants à prendre en compte afin de proposer les programmes les plus adaptés possibles. Et comme souligné par Ogawa et ses collaborateurs en 2016, il reste beaucoup à explorer pour bien comprendre comment les exergames augmentent la cognition chez les personnes âgées.

Pour synthétiser les caractéristiques intéressantes à mettre en place dans la dimension cognitive d'un programme, il s'avère que les stimulations cognitives complexes et variables semblent être les plus prometteuses pour générer des bienfaits cognitifs et les plus larges transferts vers des tâches non entraînées. Les modalités d'entraînement devront cependant tenir compte des caractéristiques des participants et des objectifs à atteindre. Jusqu'ici, les caractéristiques intéressantes à mettre en place pour proposer des programmes efficaces pourraient s'appliquer pour des interventions autres qu'en exergame (e.g., entraînements physique et cognitif simultanés³⁵). Malgré tout, nous pensons que l'aspect spécifique « exergame » a toute sa place pour enrichir les programmes, et la partie qui va suivre cherche à recenser les caractéristiques propres à l'apport des jeux vidéo, intéressantes à expérimenter.

³⁵ L'interactivité est cependant délicate à mettre en place sans rentrer dans la catégorie exergame.

III. 3. 6. Caractéristiques spécifiques aux jeux vidéo

Comme nous l'avons vu dans les parties précédentes, la combinaison d'une stimulation physique et cognitive est très intéressante mais comme le défendent Anderson-Hanley et ses collaborateurs, l'environnement virtuel peut être également un facteur de bénéfices supplémentaires. Les jeux vidéo sont intrinsèquement distrayants tout en stimulant les fonctions cognitives (Powers et al., 2013 ; Toril et al., 2014) et en augmentant l'exercice physique, l'engagement social, les émotions positives, générant des effets synergiques sur les fonctions cognitives et la neuroplasticité (Anderson-Hanley et al., 2012). Lors d'une de leurs études de 2018, sur vélo stationnaire et sur cyberbike (exergame), les auteurs constatent que le cyberbike a généré plus de bénéfices que le vélo normal, et que ces résultats ne peuvent pas s'expliquer par le niveau d'adhésion (identique entre les deux programmes). Ils défendent alors l'hypothèse que c'est l'écran qui a engendré des bénéfices supplémentaires, par la motivation et par le divertissement. Monteiro-Junior et collaborateurs (2016) annoncent que le gameplay proposé par la plupart des exergames (e.g., environnement virtuel, objectifs, défis, règles, biofeedbacks, immersion) contribue à la forte attractivité de ces jeux. Adcock et ses collaborateurs (2020) parlent des bienfaits de la « gamification » de l'entraînement. L'exergame génère un environnement enrichi et donc une stimulation cognitive supplémentaire. Cet environnement est d'autant plus enrichi qu'il est souvent nouveau pour les personnes âgées, moins habituées à ces loisirs. Et certaines études sur les effets de l'enrichissement de l'environnement soulignent l'importance de la nouveauté pour la cognition et la santé cérébrale (e.g., Angevaren et al., 2007 ; Fissler et al., 2013 ; Raichlen & Alexander, 2017). De plus, l'engagement dans des activités nouvelles réduit les risques de développer une démence (Fritsch et al., 2005).

Un autre point fort des jeux vidéo réside dans les situations proposées par la plupart des exergames, qui correspondent à des tâches ouvertes (Monteiro-Junior et al., 2016), dans lesquelles l'environnement varie, nécessitant alors hautement les fonctions exécutives (Taddei et al. 2012). Le joueur doit en effet planifier, prendre des décisions et en inhiber d'autres, afin d'interpréter correctement les stimuli engendrés par ses mouvements et déplacements dans l'environnement virtuel (Maguire et al., 1998). Par conséquent, les stimuli proposés par les jeux vidéo peuvent permettre d'améliorer ces fonctions cognitives de haut niveau (Monteiro-Junior et al., 2016) si importantes à l'autonomie de la personne vieillissante (Gonzalez-Colaço Harmand et al., 2014). Comme déjà décrit dans une partie précédente (II.2.1), l'entrée par les jeux vidéo est également intéressante car elle peut générer des transferts sur des tâches non entraînées, alors que plusieurs auteurs soulignaient que les bénéfices de l'entraînement cognitif se constataient principalement sur les tâches entraînées et peu sur d'autres situations ou comportements (e.g.,

Ball et al., 2002 ; Fissler et al., 2013 ; Hampstead et al., 2012 ; Mahncke et al., 2006 ; Stern, 2009). Fissler défend que cela puisse être dû à une variabilité plus importante des situations en jeu vidéo comparativement aux tâches d'entraînement cognitif. Plusieurs auteurs défendent également l'hypothèse que les nouvelles habiletés motrices acquises pendant le jeu pourraient générer des transferts vers d'autres activités (Staiano & Calvert, 2011 ; Bronner et al., 2016 ; Benzing & Schmidt, 2018). C'est ce que nous avons cherché à évaluer à travers notre étude sur le golf (III.2.2) mais de futurs travaux restent nécessaires pour approfondir cette possibilité de transferts, qui se montre très intéressante pour prolonger l'autonomie des personnes âgées à domicile.

Une autre caractéristique intéressante à mettre en place et à explorer, propre aux jeux vidéo et aux exergames, concerne l'immersion dans le jeu. L'immersion dépend du côté inclusif (isolement de l'environnement réel), englobant (nombre de modalités sensorielles proposées), et réaliste de la situation virtuelle proposée (Slater & Wilbur, 1997). De nombreux travaux annoncent que plus celle-ci sera importante, plus les effets sur la cognition seront importants. En 2019, Pedroli et ses collaborateurs constatent que les performances neuropsychologiques des personnes âgées avec un entraînement cognitif en réalité virtuelle augmentent davantage qu'avec un programme d'entraînement cognitif plus traditionnel, suggérant que l'engagement mental dans un environnement immersif joue un rôle important dans les améliorations cognitives et notamment exécutives. Montana et ses collaborateurs confirment également que les entraînements basés en réalité virtuelle augmentent la plasticité neuronale (Montana et al. 2019) ce qui améliore les fonctions cognitives. Par conséquent, un exergame dans un environnement virtuel générera davantage d'amélioration cognitive qu'un exergame avec une basse immersion. Encore plus récemment, Temprado (2021) défend l'idée que certains résultats en demi-teinte sur les effets cognitifs des programmes en exergame pourraient provenir de la « sous exploitation » des bénéfices de l'immersion. Selon lui, la réalité virtuelle et les environnements immersifs permettent une stimulation et une adaptation très intéressante des comportements perceptivo-moteurs des joueurs. Le programme idéal devra donc veiller à être le plus immersif possible. Huang en 2020 propose pour cela de combiner exergame et environnement virtuel immersif, afin d'être plus efficace sur la santé cérébrale, notamment en suscitant le sentiment de présence, ce qui augmente les performances cognitives en inhibition et flexibilité. Les technologies immersives, qui permettent aux joueurs de s'isoler du monde réel et d'explorer un environnement virtuel, engendrent une expérience de présence spatiale (Iachini et al., 2019). On parle de ce sentiment de présence lorsqu'un joueur, lors d'une situation de jeux vidéo et/ou d'environnement virtuel, a l'impression d'être ailleurs qu'à l'endroit où il est physiquement (e.g., Sheridan, 1992). Et il a été déjà démontré que la présence spatiale dans un environnement immersif engendre une augmentation de l'activité des régions cérébrales

associées à des fonctions cognitives, notamment aux fonctions exécutives (e.g., Kober et al., 2012). Les « games designers » devront donc chercher à augmenter l'aspect immersif des exergames, pour créer un sentiment fort de présence, qui pourrait servir comme nouvelle stratégie pour prévenir des déclinés cognitifs. Toute la difficulté résidera cependant dans l'ajustement délicat à trouver entre l'intensité d'immersion et l'acceptabilité par les personnes âgées. L'efficacité d'un programme n'est pas la finalité unique. Il faut également que les personnes âgées se sentent à l'aise et motivées pour que les exergames deviennent une méthode d'entraînement de tous les jours. Pour pouvoir être proposés aux personnes âgées, qu'elles soient en bonne santé ou fragilisées, les programmes en exergame devront donc veiller à prendre en compte plusieurs critères ergonomiques mis en lumière notamment par Bastien et Scapin (1992) et repris par Ben Sadoun et al., en 2018 dans le champ des exergames, dont notamment la compatibilité entre les caractéristiques des joueurs et celles du système, sa consistance et son adaptabilité. Les travaux de Huygelier et ses collaborateurs (2019) soulignent également que l'âge est corrélé négativement à la disposition des participants à essayer un casque de réalité virtuelle permettant l'immersion. Cependant, l'attitude des personnes âgées envers cette nouvelle technologie peut s'améliorer dès la première utilisation, dès lors qu'ils en perçoivent l'utilité (e.g., bienfaits sur la santé) et qu'ils prennent du plaisir.

En 2021, l'article de Temprado fait écho à plusieurs caractéristiques soulignées jusqu'ici, à savoir l'interactivité, l'immersion, la nouveauté, l'attractivité et le challenge et les annoncent comme contenu essentiel d'un programme en exergame pour générer des transferts intéressants vers les fonctions cognitives mais également vers les activités du quotidien. L'auteur souligne aussi l'importance de proposer des actions naturelles et spontanées, dans un contexte émotionnel adapté à la vie quotidienne (e.g., attraper, frapper, intercepter des objets mobiles, coordonner simultanément plusieurs membres, contrôler son équilibre). Ainsi, les joueurs âgés pourront stimuler leur répertoire de patterns moteurs déjà existants ou bien en intégrer de nouveaux. Les situations de jeu devraient permettre au joueur d'explorer l'environnement proposé, de découvrir et de sélectionner les actions appropriées dans l'objectif de s'adapter aux situations complexes. De plus, plusieurs auteurs soulignent que les exergames engendrent également un apprentissage moteur et améliorent les habiletés motrices générales, et ce, sans instructions formelles (« *playful non-instructive learning* »), puisque les mouvements requis ont du sens et sont intégrés dans une histoire (Benzing & Schmidt, 2018 ; Smits-Engelsman et al., 2018), ce qui peut s'avérer favorable aux bénéfices.

Pour résumer les caractéristiques des exergames qui se sont révélées pertinentes à mettre en place mais pour lesquelles il reste des choses à approfondir, il semblerait que les aspects nouveauté et haute immersion soient importants pour amplifier les bénéfices cognitifs.

Concernant la nouveauté, nous aimerions tester l'hypothèse de l'augmentation de la plasticité synaptique. Cette hypothèse considère que, sous l'effet de nouvelles expériences sensorielles et motrices liées à la pratique d'activités physiques, le réseau de connectivité cérébral va se modifier en créant de nouvelles connections ou en renforçant l'efficacité de la transmission synaptique de certaines connections (Audiffren, André & Albinet, 2011). Cette hypothèse semble se vérifier uniquement lorsque les participants sont confrontés à de nouvelles tâches ou de nouveaux problèmes sensorimoteurs. Alors que la majorité des programmes d'intervention proposent aujourd'hui d'avantage de séances routinières qui se répètent, ne serait-il donc pas plus efficace de proposer des programmes d'intervention dont les séances changeraient chaque semaine, dans l'optique de confronter au maximum le pratiquant à de nouvelles stimulations ? Cette approche fait écho à la notion de variabilité développée dans la partie précédente (III.3.5), et permettrait donc de stimuler des processus cognitifs de haut niveau et d'engendrer davantage de transferts vers des tâches non entraînées (Fissler et al., 2013). Des entraînements cognitifs multi-dimensionnels permettent une meilleure généralisation des bienfaits vers des tâches non entraînées comparés à des entraînements cognitifs plus ciblés (e.g., Basak et al., 2008 ; Carlson et al., 2009). En fonction de la nature de la pratique (variable ou constante), la plasticité cérébrale a lieu à différents niveaux de processus. Répéter la pratique d'une tâche constante génère une stimulation de processus de niveau inférieur³⁶ (e.g., Ahissar & Hochstein, 2004 ; Fissler et al., 2013) alors que la pratique de tâches variables génère une stimulation de processus de plus haut niveau et donc une plus grande généralisation des bienfaits (e.g., Schmidt & Bjork, 1992). Les premiers entraînements engendreraient des processus de haut niveau mais à mesure de la répétition et de la pratique, ils stimuleraient davantage des processus inférieurs (e.g., Katak et al., 2010). Eskes et ses collaborateurs en 2010 constatent également que les effets de la stimulation cognitive semblent davantage liés à la diversité des activités, plutôt qu'à leur durée. Ces conclusions renforcent notre projet de tester l'impact d'un programme avec des séances différentes à chaque fois. Cependant, une des limites de changer très régulièrement les situations proposées concerne le faible niveau d'apprentissage et de performances sur les tâches d'entraînement (i.e., les jeux lors des exergames). Il faudrait donc étudier dans quelle mesure ces faibles améliorations sont limitantes pour les effets cognitifs. Cependant, d'après Fissler et ses collaborateurs (2013), cette baisse du taux d'apprentissage ne semble pas rédhibitoire aux transferts vers d'autres tâches.

En 2013, Fissler et ses collaborateurs concluent leur article avec quatre principes à suivre pour une bonne intervention : les situations d'entraînement doivent i) être exigeantes (Lovden et al., 2010), ii) proposer une haute variabilité dans les tâches, mais pas dans les processus ciblés (e.g.,

³⁶ Ces processus permettent d'être efficient rapidement dans la tâche mais limitent la possibilité de transferts vers d'autres tâches non entraînées.

Green & Bavelier, 2012), iii) être multimodales, notamment à travers une stimulation cognitive et physique (Kraft, 2012) dans une temporalité proche (Roig et al., 2012), iv) avoir du sens (i.e. *Meaningfulness*), provoquer intérêt et curiosité pour un engagement et une adhésion (Park et al., 2007), à travers la motivation intrinsèque. Car pour être efficace, un programme doit être régulier et long (Unverzagt et al., 2012). Les exergames semblent cocher toutes les cases et représentent donc un outil très prometteur. Cependant, la famille des exergames étant très large, ceux-ci possèdent certaines limites et plusieurs zones d'ombre, qui vont être présentées dans la partie suivante.

III. 3. 7. Limites et zones d'ombre

Même si plusieurs travaux observent un effet bénéfique de programmes en exergame sur la cognition des plus âgés, allant jusqu'à dépasser les bienfaits de programmes simples (en entraînement cognitif, en jeux vidéo ou en activité physique) (pour revue, Stojan & Voelcker-Rehage, 2019), pour autant les conclusions ne sont pas unanimes (e.g., Ordnung et al., 2017 ; Sala et al., 2021) et les résultats restent assez hétérogènes sur les effets des exergames. La revue systématique de Gallou-Guyot et al (2020) annonce même que les exergames ne surpassent pas les effets des programmes combinés plus traditionnels. Une des raisons pouvant expliquer cette inconsistance réside dans la variété d'exergames qui peuvent générer des effets différents, basés sur leurs demandes physiques et cognitives (Canabrava et al., 2018 ; Graves et al., 2010 ; Lyons et al., 2011 ; Miyachi et al., 2010 ; O'Donovan et al., 2012 ; Taylor et al., 2012). En effet, les demandes métaboliques et/ou cognitives peuvent être basses, très basiques, ou générales pour certains exergames et très développées, spécifiques pour d'autres. Par conséquent, différents mécanismes peuvent être déclenchés. Stojan et Voelcker-Rehage, dans leur récente revue de littérature, distinguent trois catégories d'exergames, qui engendrent effectivement des différences de stimulations cognitives et physiques à savoir i) les jeux vidéo de danse et step, ii) les consoles commerciales pour domicile, et iii) les ergomètres virtuels. Chaque catégorie possède des points positifs et des défauts. D'un côté, les consoles à domicile (e.g., Nintendo, Kinect) fournissent une large variété de jeux, et donc des formes variées de stimulation physique et cognitive (Lyons et al., 2011) alors que les ergomètres et les exergames de danse sont plus restreints dans la variété et les stimulations possibles (Sell, Lillie & Taylor, 2008 ; Tan et al., 2002). D'un autre côté, l'intensité de pratique est plus facile à contrôler avec ces derniers exergames, ce qui est plus simple pour les programmes et pour connaître leur effet (Anderson-Hanley et al. 2012 ; Barcelos et al. 2015). Il existe donc une polyvalence de combinaisons possibles de stimulations physiques (endurance, force, souplesse, habiletés motrices) et de stimulations cognitives (type de jeux proposés, fonctions cognitives les plus sollicitées), ce qui

rend les comparaisons entre les études difficiles. Il convient d'éclaircir l'effort physique engendré (intensité et type), et également la demande cognitive (amplitude et fonctions requises). Des travaux sont actuellement en cours avec deux étudiants de Master 2, sur l'utilisabilité, l'expérience de jeu³⁷ et les sollicitations physiques et cognitives de deux nouveaux exergames. Le premier est le nouvel exergame de Nintendo sur Switch, le Ring Fit Adventure, sorti fin 2019 (Figure 28). Il s'agit d'un jeu d'aventure type RPG³⁸, dans lequel le joueur incarne un(e) jeune athlète qui va devoir remplir différentes missions d'aventure, en réalisant des exercices physiques variés (endurance, renforcement musculaire haut et bas du corps) notamment avec un anneau en plastique (le Ring-con) rigide et une bande (le Leg strap) qui s'accroche autour de la jambe.



Figure 28 : Exemple d'environnement proposé par le Ring Fit Adventure de chez Nintendo

Notre étude consiste à évaluer i) l'adhésion (en termes d'observance³⁹, de compléation⁴⁰, d'engagement⁴¹, et d'appréciation), ii) la faisabilité et iii) la sollicitation énergétique et cognitive des jeux chez les personnes âgées. Cette étude s'inscrit davantage dans l'approche spontanée, naturelle qui me tient à cœur, à travers une pratique libre, à domicile et quotidienne.

Le second projet en cours, qui se veut de plus grande envergure, s'attèle dans un premier temps aux mêmes objectifs initiaux que le projet précédent, mais à travers l'utilisation d'une aire de jeu immersive et interactive (i.e., NeoOne, de NeoXperience, Figure 29) et dans une approche davantage contrôlée et maîtrisée du programme d'intervention, à proposer principalement en structures ou laboratoires. Cette nouvelle génération d'exergames, avec encore très peu de recul

³⁷ L'expérience de jeu (« *game experience* ») évalue la compétence, l'immersion, le flow, la tension, le challenge, les émotions positives et négatives ressentis par le joueur.

³⁸ *Role Playing Game*, jeu de rôle.

³⁹ Nombre de séances réalisées par rapport au nombre de séances initialement prévues.

⁴⁰ Pourcentage de participants allant au terme de l'étude.

⁴¹ Acceptation du patient à entrer dans le programme.

scientifique, nous semble prometteuse pour les personnes âgées. Tout d'abord, elle devrait permettre une stimulation aérobie, un renforcement musculaire et une sollicitation des habiletés motrices complexes, à travers des jeux de mains et de pieds avec balles et ballons, tout en gardant cette approche « *moving while thinking* ». Ensuite, elle propose une approche immersive riche sans être pour autant trop invasive (i.e., pas de casque de réalité virtuelle). Enfin, elle engendre un aspect social intéressant. En effet, cette aire de jeux permet de jouer à plus de 10 personnes simultanément, stimulant ainsi les interactions sociales. D'après Ballesteros, Voelcker-Rehage et Bherer (2018), celles-ci sont importantes pour amplifier les bienfaits des entraînements basés sur les jeux vidéo. Cela permet également de proposer des situations d'opposition et de coopération intéressantes pour les personnes âgées en termes de variabilité et de stimulation cognitive (Audiffren et al., 2011 ; Elferink-Gemser et al., 2018 ; Vestberg et al., 2012 ; Wang et al., 2015). Elle devrait aussi générer une forte attractivité, d'autant que l'influence d'autrui est favorable sur le niveau de participation et d'engagement de ces personnes (e.g., Brox et al., 2011 ; Mueller, O'Brien & Thorogood, 2007 ; Roberts, Spink & Pemberton, 1999). L'approfondissement des effets de ce nouvel outil technologique fait l'objet d'une collaboration depuis juin 2021 avec la mairie de Montreuil, qui est équipée du dispositif. Si les premières recherches sur l'attractivité et les stimulations engendrées se révèlent prometteuses, les effets de cette aire interactive seront comparés à d'autres stimulations simples ou combinées, afin d'en comprendre sa potentielle plus-value.



Figure 29 : Aire de jeux immersive et interactive NeoOne de la société NeoXperience

Dans l'objectif de chercher à créer le programme idéal pour la santé cognitive de la personne âgée, à travers une approche multimodale, il reste beaucoup de travail à faire pour clarifier quels contenus mais également quelles intensités, durées, fréquences⁴² (Desjardin-Crépeau et al., 2016 ; Stojan & Voelcker-Rehage, 2019, Voelcker-Rehage & Niemann 2013 ; Kueider et al., 2012 ;

⁴² La durée, la fréquence et l'intensité idéales sont encore à trouver, Malgré tout, Stojan et Voelcker-Rehage, en 2019, suggèrent que les exergames soient pratiquées 2 ou 3 fois par semaine, pour 45 à 60 min, pour au moins 12 semaines (Lauenroth et al., 2016 ; Stanmore et al., 2017 ; Tait et al., 2017).

Lampit, Hallock et Valenzuela, 2014 ; Young et al., 2015 ; Angeraven et al., 2007 ; Hillman, Erickson & Kramer, 2008 ; Zhu et al., 2016). En effet, comme souligné par Erickson, Hillman & Kramer, en 2015, et par Gheysen et al en 2018, il existe encore un fossé considérable avant de savoir comment tirer les meilleurs bénéfices de ces stimulations combinées enrichies, la relation dose-réponse restant une zone d'ombre qu'il convient d'aborder, notamment en termes d'intensités des stimulations cognitives et physiques proposées simultanément. Dans leur méta-analyse, Zhu et ses collaborateurs (2016) annoncent que des stimulations exigeantes en intensité physique et en demande cognitive pourraient aussi avoir des effets négatifs sur les plus âgés, engendrant une fatigue cognitive (Holtzer et al., 2010 ; Lampit et al., 2014), un stress excessif et moins d'engagement dans l'activité (Fiatarone Singh et al., 2014). Ils constatent également qu'une haute fréquence de pratique n'engendre pas les meilleurs effets sur la cognition. Les interventions programmées cinq fois ou plus par semaine ont montré moins d'efficacité que celles conduites moins de cinq fois. Ces résultats font écho à d'autres méta-analyses réalisées sur les programmes d'entraînement cognitif (Au et al., 2015 ; Li et al., 2011) ou de jeux vidéo (Toril et al., 2014). Il semblerait donc qu'un « dosage maximal » existe et que de futurs travaux soient nécessaires pour ajuster au mieux la fréquence de pratique, sans risquer le sur-dosage. La revue systématique de Gheysen et al (2018) ainsi que la méta-analyse de Colcombe et Kramer (2003) soulignent également que les effets bénéfiques des programmes combinés ne semblent pas dépendants de la longueur du programme, ni du nombre, de la fréquence ou de la durée des séances. A ce propos, Pesce (2012) et Torre et ses collaborateurs (2021) proposent de mettre davantage la lumière sur les aspects qualitatifs des programmes combinant exercice physique et cognition (type d'exercices), plutôt que sur leurs aspects quantitatifs (i.e., durée, intensité).

Parallèlement, des déséquilibres entre les stimulations physique et cognitive pourraient avoir des conséquences importantes. Il se peut que si la demande physique est trop élevée, elle empêche les personnes âgées de réaliser les exercices cognitifs et donc de bénéficier des effets synergiques. Inversement, des exercices cognitifs trop exigeants pourraient limiter l'investissement physique et ne pas atteindre une intensité suffisante. C'est ce que nous avons d'ailleurs observé dans la thèse de Laure Combourieu (Combourieu et al., 2018) auprès de personnes âgées atteintes de MCI, qui parvenaient à réaliser des exercices cognitifs tout en pédalant, mais avec une intensité plus basse qu'en tâche simple de pédalage. Malgré cela, le programme combiné présentait de plus larges bénéfices que le programme simple. Il serait donc pertinent d'explorer comment atteindre ce juste équilibre, lié ici à la simultanéité, mais également de le comparer avec des programmes séquentiels très rapprochés qui pourraient se montrer adaptés pour éviter la domination d'une stimulation sur une autre.

Mishra et ses collaborateurs en 2016, ainsi que Benzing et Schmidt en 2018 insistent également sur la nécessité de développer des programmes d'exergame personnalisés pour chaque pratiquant. Les exergames du commerce sont intéressants car très bien conçus techniquement et donc attractifs et divertissants. Cependant, ils sont moins adaptatifs et spécifiques. Les concepteurs du programme deviennent alors déterminants afin de chercher à proposer des situations les plus adaptées possibles aux objectifs et/ou aux capacités des participants. Les prochains défis à relever seront de proposer des jeux aussi attractifs que ceux du commerce, notamment en termes de *flow*, tout en étant parfaitement personnalisables.

Une autre zone d'ombre concerne la pérennité des bénéfices et de l'investissement dans le programme. L'aspect ludique, attractif des exergames représente un point fort qui favorise la pratique à long terme. De plus, la large variété de jeux disponibles engendrant une activité physique permet d'éviter la lassitude, et de proposer régulièrement de nouvelles stimulations. Cependant, des travaux menés chez les jeunes constatent qu'ils se lassent, maîtrisent les mécanismes des jeux et se tournent vers une pratique pragmatique, permettant de produire moins d'effort (Benzing & Schmidt, 2018 ; Soltani et al., 2020). Ils se tournent alors à nouveau vers une pratique sédentaire (Lyons et al., 2011 ; Soltani et al., 2020). Mon hypothèse est que les personnes âgées ne devraient pas l'aborder de la même façon que les jeunes, davantage comme une activité physique plutôt que comme un jeu vidéo, et ne devraient donc pas avoir comme objectifs de réduire leur stimulation physique. Cette hypothèse reste à tester. Il semble cependant important de prévoir un catalogue de jeux assez conséquent lors de la construction d'un programme en exergame.

Cette partie souligne que de futurs travaux sont nécessaires pour éclaircir et maîtriser davantage l'impact de nombreux paramètres sur l'efficacité des exergames sur le vieillissement cognitif. Dans une approche plus générale du programme idéal pour la cognition de la personne âgée, à l'heure actuelle, la compréhension des interactions entre les facteurs qui peuvent agir sur l'expression des bénéfices n'est qu'à son commencement. Les facteurs contribuant à l'efficacité des programmes tout comme les processus neurophysiologiques associés ont encore besoin d'être approfondis.

Cette grande partie sur les perspectives de recherche concernant le programme idéal recense plusieurs caractéristiques qu'il pourrait être intéressant de mettre en place afin d'optimiser la santé cérébrale des plus âgés. Cependant, combiner ensemble tous ces paramètres relève d'un véritable défi, tout d'abord parce que le respect de certaines caractéristiques rendra impossible le respect d'autres. Par exemple, il peut être complexe de maintenir l'aspect ludique, attractif et motivant, nécessaire pour une pratique pérenne, tout en proposant des stimulations physiques

et surtout cognitives suffisamment hautes pour engendrer un maximum de bénéfices. Subramania et ses collaborateurs (2020) soulignent récemment à ce propos que les personnes âgées recherchent davantage l'utilité perçue pour la santé physique et cognitive et le plaisir de jouer que le challenge. De même, les jeux d'action semblent être ceux qui génèrent le plus régulièrement de bénéfices, mais ne sont pas les jeux préférés des personnes âgées (e.g., Ballesteros et al., 2015) car ils sont jugés trop rapides, intenses et moins accessibles (e.g., Feng et al., 2007 ; Green & Bavelier, 2003). C'est d'ailleurs ce que nous avons observé à travers notre étude sur le jeu Mario Bros (cf. II. 1. 2). Il faudra donc tenir compte à la fois du contexte scientifique, mais également des enjeux pratiques, pour que le programme idéal ne convienne pas uniquement aux chercheurs ! Ensuite, à tout vouloir contrôler, maîtriser, nous risquons de perdre le côté naturel, spontané de la pratique, et donc l'investissement du pratiquant. La tâche n'est donc pas simple !

III. 4. Attaquer le problème à la source... avant que la forêt ne prenne feu

La dernière perspective que je souhaite présenter ici concerne un approfondissement de la théorie de l'enrichissement cognitif d'Hertzog et collaborateurs (2008). Selon leur modèle, les quatre profils cognitifs démarrent au même niveau, à 20 ans. Or, les trajectoires pourraient être modifiées très tôt par les comportements de vie lors des premières années de vie (Figure 30), et notamment par le niveau d'activité physique. Même si la littérature ainsi qu'une partie de mes travaux semblent défendre le modèle modérateur des effets de l'activité physique (I.2), en indiquant que celle-ci joue un rôle de plus en plus important avec l'avancée en âge, en ralentissant les symptômes du vieillissement, il n'en demeure pas moins que l'activité physique reste efficace même pour les plus jeunes.

Je ne prétends pas vouloir développer un champ scientifique complètement novateur, car il existe de nombreuses recherches sur les liens entre le niveau d'activité physique et la cognition des plus jeunes (e.g., Alvarez-Bueno et al., 2017 ; Hillman, Khan & Kao, 2015 ; pour revue ; Khan & Hillman, 2014). Mais comparativement aux travaux chez les plus âgés, ce champ de recherche reste assez récent avec une étude pionnière datant d'une quinzaine d'année (i.e., Hillman, Castelli & Buck, 2005) et relativement sous étudié, notamment à partir de protocoles interventionnels. Les résultats qui en ressortent soulignent un effet de la pratique régulière de l'activité physique sur le cerveau de l'enfant, au niveau de la structure cérébrale (avec l'observation d'une meilleure intégrité de la matière blanche et d'un plus grand volume de matière grise dans l'hippocampe) et du fonctionnement cérébral à partir de techniques IRM ou potentiels évoqués. Ces modifications s'accompagnent d'améliorations cognitives, notamment au niveau des fonctions exécutives (pour revue, Erickson, Hillman et Kramer, 2015). Malgré tout,

Erickson, Hillman et Kramer (2015) soulignent la nécessité d'approfondir ce champ de recherche afin de mieux cerner l'impact de l'activité physique sur la structure d'un cerveau en plein développement. Il semble donc important de renforcer ce domaine étant donné qu'un style de vie actif pendant l'enfance pourrait contribuer à développer la réserve cognitive active et permettre d'être mieux armé pour faire face aux déficits liés à l'avancée en âge (Hillman, Erickson & Kramer, 2008). Sowell et ses collaborateurs soulignent en 2013 que l'enfance et l'adolescence sont les périodes critiques pour le développement cérébral notamment pour la formation de la substance grise, déterminante face aux déficits cognitifs et au risque de démence.

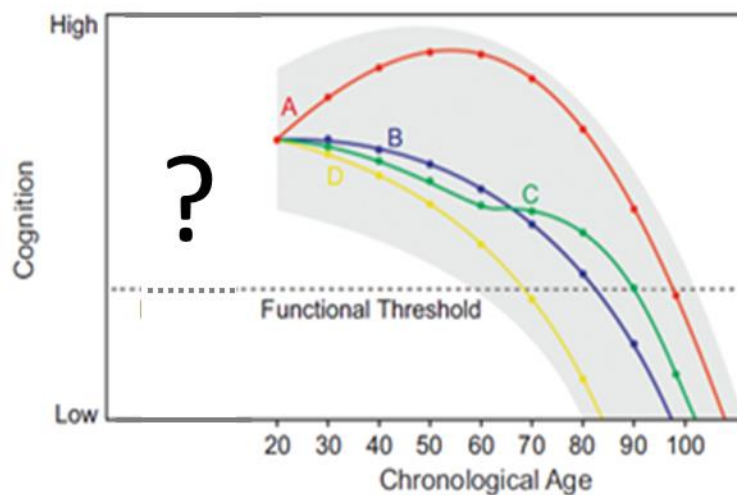


Figure 30 : Volonté d'approfondissement de l'hypothèse de l'enrichissement cognitif (Hertzog et al., 2008)

Malheureusement, l'évolution de la société génère une explosion des comportements sédentaires, engendrant une sous stimulation physique et ce, dès le plus jeune âge. Les jeunes d'aujourd'hui sont en moindre forme physique que leurs parents au même âge. Parallèlement aux hypothèses neurophysiologiques qui ont été présentées dans ce manuscrit, un manque de stimulation physique à intensité modérée entraîne une carence en production de facteurs neurotrophiques, nécessaires pour un fonctionnement cognitif optimal. La société moderne engendre également une sous stimulation cognitive. En effet, les nouvelles technologies et/ou les nouveaux loisirs rendent les individus de plus en plus passifs cognitivement, en simplifiant les stimulations et les sollicitations⁴³. Les jeunes ne sont malheureusement pas épargnés par ce phénomène. Cette simplification provoque une sous stimulation de la plasticité synaptique, qui a

⁴³ Un exemple parmi tant d'autres, le Guidage Par Satellite (GPS) peut illustrer ces propos : simplification de la tâche pour le confort, la performance et/ou la sécurité de l'utilisateur, au détriment de sa stimulation cognitive.

pourtant besoin de nouveauté et de complexité pour se mettre en place. Cela nous ramène à l'exemple du Koala, présenté en introduction, dont les stimulations ont été réduites au strict minimum et qui connaît aujourd'hui une atrophie cérébrale. L'adage « Use it or lose it » (Hultsch, et al., 1999) n'a jamais été aussi approprié à notre époque.

Le dernier argument qui m'incite à attaquer le problème à la source concerne l'explosion des maladies neurodégénératives. En 2017, la neuroscientifique Lisa Genova⁴⁴, lors d'une conférence TED, aborde ce qu'il est possible de faire pour prévenir la maladie d'Alzheimer. Elle considère que le traitement de cette maladie se doit d'être préventif avant que l'accumulation de plaques amyloïdes n'atteigne un seuil critique, signe de dysfonctionnements cognitifs importants. Elle utilise l'image très parlante d'une allumette en feu qui représente l'accumulation de ces plaques. Au seuil critique, l'allumette met le feu à la forêt. Une fois la forêt en feu⁴⁵, cela ne sert plus à rien d'éteindre l'allumette. Il faut éteindre l'allumette avant que la forêt ne prenne feu. Il s'avère que notre façon de vivre peut influencer l'accumulation de plaques amyloïdes et ainsi éviter ou du moins retarder l'atteinte de ce seuil critique. Nous pouvons agir pour nous créer une réserve cognitive, et la stimulation physique et cognitive représentent des acteurs primordiaux de cette réserve. Inciter les individus à se construire cette réserve tout au long de leur vie et dès le plus jeune âge représente une bataille à laquelle j'ai envie de participer. Avant que la forêt ne prenne feu...

⁴⁴ Lisa Genova est l'auteure du livre « Still Alice » (2007) repris au cinéma en 2014.

⁴⁵ La forêt en feu représente l'accumulation des symptômes de la maladie d'Alzheimer et la pose du diagnostic.

Conclusion générale

Les différents travaux que j'ai menés convergent vers une conception d'un vieillissement cognitif adaptatif, et peuvent faire écho au modèle STAC (*Scaffolding Theory of Aging and Cognition*, Park & Heuter-Lorenz, 2009) qui met l'accent sur les interactions entre les aspects déficitaires du vieillissement et le potentiel de plasticité du cerveau âgé. Ce modèle suggère dans un premier temps que certaines caractéristiques de l'individu, comme son style de vie, son niveau d'éducation, de stimulation physique, ses activités sociales et/ou cognitives lui permettraient de se constituer une réserve tout au long de la vie qui pourrait être utilisée pour résister aux effets de l'avancée en âge sur les fonctions cognitives. Les travaux transversaux (Perrot et al., 2009) et également l'approche lifespan « spontanée » mise en place dans la thèse d'Iréné Lopez (I.3.1) (Lopez-Fontana et al., 2018) vont dans le sens de cette première partie du modèle STAC. Même si elle possède des limites, cette approche me semble importante car, peut-être plus représentative de ce qu'il se passe en dehors des laboratoires, elle peut aider à comprendre comment les phénomènes de plasticité peuvent se mettre en place « naturellement », pour adapter les stratégies de prévention du déclin cognitif lié à l'âge. Il semblerait que la durée de pratique ainsi que le sexe des individus soient des déterminants à prendre en compte. Il reste à savoir quelles caractéristiques doit posséder une stimulation physique afin que les hommes comme les femmes puissent bénéficier au maximum de bienfaits cognitifs. Il sera alors intéressant de chercher à proposer des programmes adaptés à chacun, en tenant compte de divergences dans les réponses physiologiques à l'exercice. Mais il conviendra également de se pencher en détail sur l'effet de genre dans le choix du type d'activité pratiquée, qui pourrait expliquer des différences importantes de stimulations cognitives entre les hommes et les femmes.

Le modèle STAC prédit dans un deuxième temps qu'il devrait être possible d'améliorer la capacité du cerveau à s'adapter aux altérations cognitives liées à l'avancée en âge, en construisant de nouveaux réseaux neuroprotecteurs, grâce à des programmes d'intervention. Cette fois-ci, ce sont les différents travaux interventionnels que j'ai menés qui s'inscrivent dans la théorie de Park et Heuter-Lorenz, notamment à travers des programmes combinant stimulations cognitive et physique (notamment à travers les thèses de Pauline Maillot et Laure Combourieu). L'enrichissement des programmes semble être une voie de recherche à poursuivre. Nous pourrions être tentés de proposer des stimulations simples et épurées aux personnes âgées, du fait de leurs déficits et de leur ralentissement. Je pense sincèrement que la solution n'est pas là. Les différents résultats observés suite à des programmes d'intervention en activité physique combinée à de l'ETP (Perrot et al., 2019a), sur la Wii (Maillot et al., 2012a, 2014 ; Perrot et al., 2021, Meziere et al., 2020), avec le programme APEC (Combourieu et al., 2018) ou encore avec le jeu vidéo Mario Bros (Perrot et al., 2019b) incitent davantage à penser

que la solution semble être dans les programmes enrichis, complexes et stimulants pour préserver voire améliorer les capacités cognitives mais aussi fonctionnelles des personnes âgées (Figure 31).

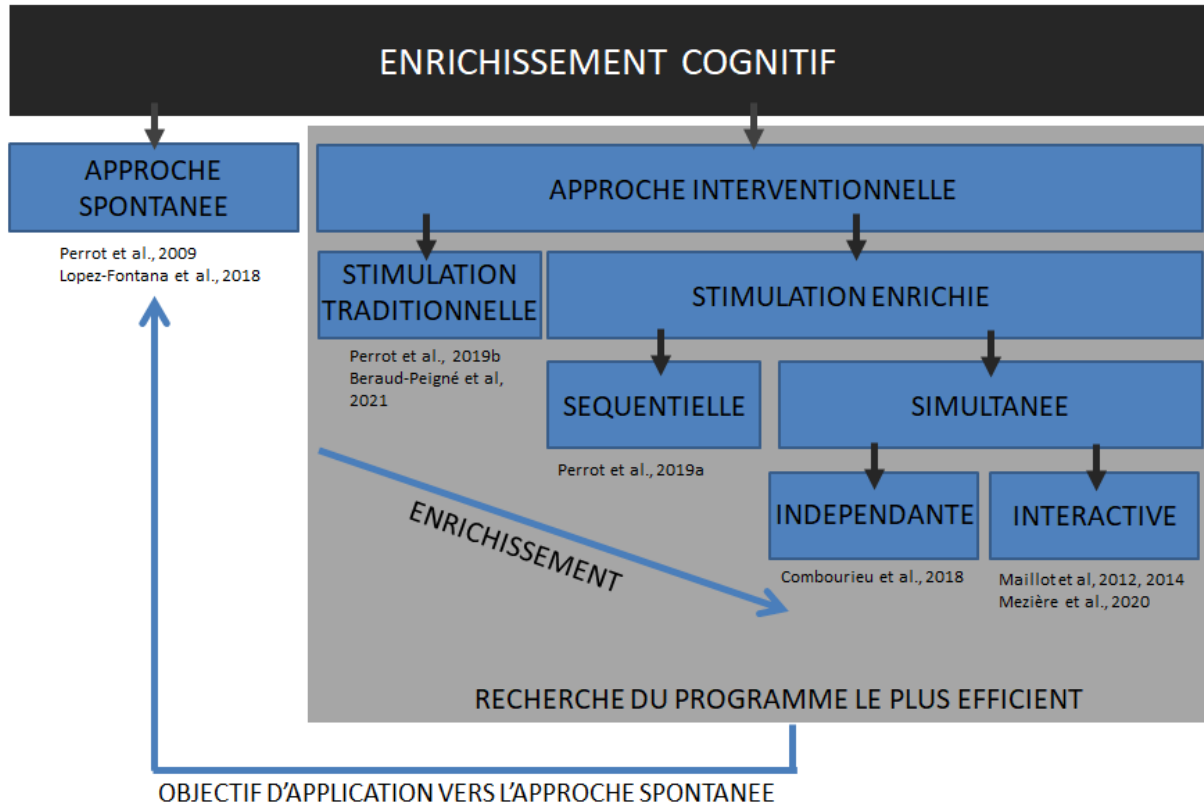


Figure 31 : Synthèse méthodologique des principaux travaux de recherche, basée sur la théorie de l'enrichissement cognitif (Hertzog, 2008)

Les différents programmes enrichis mis en place à travers mes travaux s'inscrivent dans les trois catégories d'interventions combinant stimulation cognitive et physique qu'Anderson-Hanley et ses collaborateurs (2018) ainsi qu'Herold et collaborateurs (2018) distinguent, à savoir i) les interventions combinées, où les composants des programmes sont administrés séquentiellement/en tandem (e.g., Barnes et al., 2013 ; Bherer et al., 2020 ; Desjardins-Crépeau et al., 2016 ; Fiatarone et al., 2014), ii) les interventions en double tâche, où les composants sont administrés simultanément, mais à travers des tâches différentes (e.g., décompter tout en marchant)(e.g., Eggenberger et al., 2015 ; Schaefer & Schumacher, 2011 ; Theill et al., 2013) et iii) les interventions interactives, comme les exergames, jugées plus écologiques par Herold et ses collaborateurs (2018), durant lesquelles les actions dans un domaine affectent l'autre domaine (e.g., les mouvements contrôlent la progression dans un monde virtuel et l'atteinte d'objectifs) (e.g., Anderson-Hanley et al., 2012 ; Bamidis et al., 2015, Wang et al., 2016).

Les travaux sur les effets de l'AP associés à de l'ETP (Perrot et al., 2019a) font écho aux interventions combinées. Les travaux de thèse de Laure Combourieu (Combourieu et al., 2018) s'inscrivent dans les interventions en double tâche. Et enfin, les travaux menés sur les exergames (Maillot et al., 2012a, 2014 ; Perrot et al., 2021, Meziere et al., 2020) se situent dans les interventions interactives. Chacune des contributions dans ces trois catégories d'intervention souligne la pertinence d'enrichir la stimulation physique, afin d'engendrer des effets de synergie intéressants pour la cognition, mais également pour des paramètres fonctionnels ou psychologiques.

Je ne crois pas qu'il soit d'usage de terminer ainsi son habilitation à diriger des recherches, mais j'en prends la liberté. Je souhaiterais vous faire part de ce que je considère comme les limites de mon travail de recherche mais également vous parler de mes forces. Commençons par les limites, afin de terminer sur une note plus positive ! Mes travaux ne s'inscrivent pas dans une approche fondamentale et je ne teste pas de grands modèles, ni n'en propose. Pratiquement⁴⁶ aucune des études présentées dans ce manuscrit ne relève de l'obtention d'un appel à projet national ou international important. Par conséquent, les programmes d'intervention mis en place restent locaux, de moyenne ampleur et avec des échantillons relativement petits. J'imagine que l'évolution naturelle de ma carrière devrait me guider vers le montage et la coordination de projets financés, de plus grandes ampleurs, avec davantage de collaborations internationales. Mais cet objectif peut s'avérer lourd à construire et à finaliser, d'autant plus quand on n'est pas uniquement chercheur mais également pleinement investi dans son rôle d'enseignant et de responsable de formation.

Au risque de paraître aux yeux de certains un peu superficielles, répétitives et sans ancrage solide, je perçois cependant mes recherches comme profondément accessibles appliquées et applicables. Et c'est ici que je revendique mes forces : le côté accessible parce que mes travaux sont simples mais bien vulgarisables, si l'on se fie aux nombreuses émissions scientifiques qui m'ont déjà sollicités⁴⁷. Certaines de mes publications sont dans des revues plus modestes, mais malgré tout plutôt bien lues par la communauté médicale francophone. Je revendique ce côté de la science, cela fait partie de l'approche que je me fais de mon métier de chercheur : le côté appliqué et applicable puisque j'ai l'impression d'apporter des solutions concrètes, plutôt faciles à reproduire et adaptées à des réalités de terrain. Se rendre compte à la fin d'un programme d'intervention que les participants ne veulent plus arrêter et demandent à s'équiper du même

⁴⁶ L'étude sur les bienfaits des jeux vidéo relève de l'obtention d'une AAP Paris Sud « jeune chercheur » en 2010.

⁴⁷ « E=M6 », « On n'est pas que des cobays », « C'est pas sorcier », « Ecran total », « la quotidienne de France 5 ».

matériel pour poursuivre seuls, cela vaut toutes les revues internationales. Ça m'aide à me sentir utile. Erickson, Hillman et Kramer soulignent dans un article en 2015 la nécessité de se pencher sur la transition entre les travaux de laboratoire et la généralisation des prescriptions cliniques, en insistant également sur les faiblesses des politiques publiques dans la promotion des bienfaits de l'activité physique. Cet objectif fait écho au décret sur le sport sur ordonnance qui, depuis mars 2017, permet aux médecins de prescrire à certains patients des activités physiques adaptées. Mais après quatre années d'existence, ce dispositif affiche un bilan très mitigé car il reste mal connu, malheureusement réservé à certains publics (affections de longue durée) et non pris en charge par l'assurance maladie. De plus, les médecins ne se sentent probablement pas assez armés pour indiquer concrètement le type de pratique recommandé, sa fréquence, son intensité. Ce champ de recherche reste encore largement à approfondir.

Pour finir d'exposer mon approche, je vais revenir sur la dernière perspective de recherche que je vous ai présentée (III.4), à savoir, l'approfondissement de la théorie de l'enrichissement cognitif chez les plus jeunes. Comme je le disais, la science ne m'a pas attendu sur cette thématique. La littérature possède de nombreux exemples de programmes d'activité physique qui ont été mis en place dans des établissements scolaires et qui ont permis des améliorations des résultats académiques, de la concentration et une réduction des comportements déviants (e.g., Beck et al., 2016 ; Budde et al., 2008 ; Ratey & Hagerman, 2008). Il ne s'agit donc pas pour mes collaborateurs et moi-même d'expérimenter un nouveau modèle, mais bien de proposer ces programmes d'intervention efficaces dans de nouveaux établissements scolaires, afin de pouvoir observer concrètement et le plus largement possible leurs effets, et d'aider à instaurer une culture de l'activité physique le plus tôt possible, dans l'objectif pour les futures générations de se constituer la meilleure réserve cognitive possible pour vivre leur vie dans des conditions optimales. Barnes (2015) et Nyberg et ses collaborateurs (2014) soulignaient que le niveau d'activité physique pendant l'enfance et la jeunesse retarde les risques de déficits cognitifs, et permet de prédire les risques de MCI ou de démence 42 ans plus tard.

Si après la lecture de ce document, je ne vous ai pas incités à aller courir 30 minutes, alors je ne peux plus rien faire pour vous...ou si, peut être ! De récents travaux viennent de découvrir qu'il était possible d'injecter chez une souris sédentaire le sang d'une souris qui fait régulièrement de l'exercice, provoquant chez la souris sédentaire les mêmes effets que ceux provoqués par la pratique de l'activité physique, à savoir la création de nouveaux neurones dans l'hippocampe ainsi que des améliorations cognitives (Horowitz et al., 2020). Nous pourrions donc tous rester dans notre canapé, sans culpabiliser...Trêve de plaisanteries, ces travaux ouvrent des portes très intéressantes pour toutes les personnes qui ne peuvent pas pratiquer d'activité physique régulière, quelle qu'en soit la raison. Mais la route est encore longue avant de pouvoir acheter

des doses d'activité physique en pharmacie ! Et à y réfléchir, je ne suis pas sûre de vouloir que ce médicament existe un jour car j'imagine qu'il sera responsable de comportements déviants générateurs d'encore plus de sédentarité...

Bibliographie

Ackerman, P. L. (1990). A correlational analysis of skill specificity: Learning, abilities, and individual differences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 883-901. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.16.5.883>

Ackerman, P. L., Kanfer, R., & Calderwood, C. (2010). Use it or lose it? Wii brain exercise practice and reading for domain knowledge. *Psychology and aging*, 25(4), 753-766. <https://doi.org/10.1037/a0019277>

Adcock, M., Sonder, F., Schättin, A. *et al.* (2020). A usability study of a multicomponent video game-based training for older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, 17, 3. <https://doi.org/10.1186/s11556-019-0233-2>

Adcock-Omlin, M & Fankhauser, M & Post, J & Lutz, K & Zizlsperger, L & Luft, A & Guimarães, V & Schättin, A & de Bruin, E. (2019). Effects of an In-home Multicomponent Exergame Training on Physical Functions, Cognition, and Brain Volume of Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Medicine*. 6. 10.3389/fmed.2019.00321.

Ahissar, M., & Hochstein, S. (2004). The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends in cognitive sciences*, 8(10), 457-464. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.08.011>

Aiken, L. S., & West, S. G. (1991). Multiple regression: Testing and interpreting interactions. Newbury Park, London, Sage.

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Leon, A. S., Jacobs, D. R., Montoye, H. J., Sallis, J. F., & Paffenbarger, R. S. (1993). Compendium of physical activity: Classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(1), 71-80. doi: 10.1249/00005768-199301000-00011

Albinet, C. T., Boucard, G., Bouquet, C. A., & Audiffren, M. (2012). Processing speed and executive functions in cognitive aging: how to disentangle their mutual relationship?. *Brain and cognition*, 79(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.001>

Allaire, J. C., & Marsiske, M. (1999). Everyday cognition: Age and intellectual ability correlates. *Psychology and Aging*, 14(4), 627-644. doi: 10.1037//0882-7974.14.4.627

Allali, G., Van Der Meulen, M., & Assal, F. (2010). Gait and cognition: the impact of executive function. *Swiss Archives of Neurology and Psychiatry*, 161(6), 195-199. <http://hdl.handle.net/10993/867>

Álvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sánchez-López, M., Martínez-Hortelano, J. A., & Martínez-Vizcaíno, V. (2017). The Effect of Physical Activity Interventions on Children's Cognition and Metacognition: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 56(9), 729–738. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012>

Al-Yahya, E., Dawes, H., Smith, L., Dennis, A., Howells, K., & Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking: A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(3), 715–728. doi: 10.1016/j.neubiorev.2010.08.008.

American College of Sports Medicine (2006). ACSM'S Guidelines for exercise testing and prescription (7th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

American Thoracic Society (ATS), and the European Respiratory Society (ERS) (2000). American journal of respiratory and critical care medicine, 161, 646-664.

Amieva, H., Stoykova, R., Matharan, F., Helmer, C., Antonucci, T. C., & Dartigues, J. F. (2010). What aspects of social network are protective for dementia? Not the quantity but the quality of social interactions is protective up to 15 years later. *Psychosomatic medicine*, 72(9), 905–911. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181f5e121>

Andel, R., Silverstein, M., & Kåreholt, I. (2015). The role of midlife occupational complexity and leisure activity in late-life cognition. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 70(2), 314–321. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbu110>

Andel, R., Kareholt, I., Parker, M. G., Thorslund, M., & Gatz, M. (2007). Complexity of primary lifetime occupation and cognition in advanced old age. *Journal of Aging and Health*, 19(3), 397–415. doi:10.1177/0898264307300171

Anderson-Hanley, C., Arciero, P. J., Brickman, A. M., Nimon, J. P., Okuma, N., Westen, S. C., Merz, M. E., Pence, B. D., Woods, J. A., Kramer, A. F., & Zimmerman, E. A. (2012). Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial. *American journal of preventive medicine*, 42(2), 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.10.016>

Anderson-Hanley, C., Barcelos, N. M., Zimmerman, E. A., Gillen, R. W., Dunnam, M., Cohen, B. D., Yerokhin, V., Miller, K. E., Hayes, D. J., Arciero, P. J., Maloney, M., & Kramer, A. F. (2018). The Aerobic and Cognitive Exercise Study (ACES) for Community-Dwelling Older Adults With or At-Risk for Mild Cognitive Impairment (MCI): Neuropsychological, Neurobiological and Neuroimaging Outcomes of a Randomized Clinical Trial. *Frontiers in aging neuroscience*, 10, 76. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00076>

- André, N., Ferrand, C., Albinet, C., & Audiffren, M. (2018). Cognitive Strategies and Physical Activity in Older Adults: A Discriminant Analysis. *Journal of aging research*, 2018, 8917535. <https://doi.org/10.1155/2018/8917535>
- Andriolo, R.B., El Dib, R.P., Ramos, L., Atallah, A.N., & da Silva, E.M. (2010). Aerobic exercise training programmes for improving physical and psychosocial health in adults with Down syndrome. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12(5):CD005176. doi: 10.1002/14651858.CD005176.pub4.
- Angel, L., & Isingrini, M. (2015). Le vieillissement neurocognitif: Entre pertes et compensation [Neurocognitive aging: Deficits and compensation]. *L'année psychologique*, 115(2), 289–324. <https://doi.org/10.4074/S0003503314000104>
- Angevaren, M., Vanhees, L., Wendel-Vos, W., Verhaar, H. J., Aufdemkampe, G., Aleman, A., & Verschuren, W. M. (2007). Intensity, but not duration, of physical activities is related to cognitive function. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation : official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 14(6), 825–830. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e3282ef995b>
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *The Cochrane database of systematic reviews*, (2), CD005381. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005381.pub2>
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., ... & Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 501(7465), 97–101. doi:10.1038/nature12486
- Annesi, J. J., & Mazas, J. (1997). Effects of virtual reality-enhanced exercise equipment on adherence and exercise-induced feeling states. *Perceptual and motor skills*, 85(3 Pt 1), 835–844. <https://doi.org/10.2466/pms.1997.85.3.835>
- Anstey, K. J., von Sanden, C., Salim, A., & O'kearney, R. (2007). Smoking as a risk factor for dementia and cognitive decline: a meta-analysis of prospective studies. Oxford Univ Press.
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Trail making test, part B as a measure of executive control: validation using a set-switching paradigm. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 22(4), 518-528. doi:10.1076/1380-3395(200008)22:4;1-0;FT518

- Arfanakis, K., Wilson, R. S., Barth, C. M., Capuano, A. W., Vasireddi, A., Zhang, S., ... & Bennett, D. A. (2016). Cognitive activity, cognitive function, and brain diffusion characteristics in old age. *Brain imaging and behavior*, 10(2), 455-463. doi:10.1007/s11682-015-9405-5
- Arnold A. P. (2009). The organizational-activational hypothesis as the foundation for a unified theory of sexual differentiation of all mammalian tissues. *Hormones and behavior*, 55(5), 570–578. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2009.03.011>
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 22(2), 366–377. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0699-x>
- Audiffren, M., André, N. & Albinet, C. (2011). Effets positifs de l'exercice physique chronique sur les fonctions cognitives des seniors : bilan et perspectives. *Revue de neuropsychologie*, 4(4), 207-225. <https://doi.org/10.3917/rne.034.0207>
- Avlund, K., Lund, R., Holstein, B. E., Due, P., Sakari-Rantala, R., & Heikkinen, R.-L. (2004). The impact of structural and functional characteristics of social relations as determinants of functional decline. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 59(1), 44-51. doi:10.1093/geronb/59.1.S44
- Baker, L. D., Frank, L. L., Foster-Schubert, K., Green, P. S., Wilkinson, C. W., McTiernan, A., ... & Duncan, G. E. (2010). Effects of aerobic exercise on mild cognitive impairment: a controlled trial. *Archives of neurology*, 67(1), 71-79. doi: 10.1001/archneurol.2009.307
- Bale, T. L., & Epperson, C. N. (2015). Sex differences and stress across the lifespan. *Nature Neuroscience*, 18(10), 1413-1420. doi:10.1038/nn.4112
- Ball, K., Berch, D. B., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., Morris, J. N., Rebok, G. W., Smith, D. M., Tennstedt, S. L., Unverzagt, F. W., Willis, S. L., & Advanced Cognitive Training for Independent and Vital Elderly Study Group (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults: a randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, 288(18), 2271–2281. <https://doi.org/10.1001/jama.288.18.2271>
- Ballesteros, S., Mayas, J., Prieto, A., Toril, P., Pita, C., Laura, P., Reales, J. M., & Waterworth, J. A. (2015). A randomized controlled trial of brain training with non-action video games in older adults: results of the 3-month follow-up. *Frontiers in aging neuroscience*, 7, 45. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00045>

- Ballesteros, S., Voelcker-Rehage, C., & Bherer, L. (2018). Editorial: Cognitive and Brain Plasticity Induced by Physical Exercise, Cognitive Training, Video Games, and Combined Interventions. *Frontiers in human neuroscience, 12*, 169. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00169>
- Baltes, P. B., Lindenberger, U., & Staudinger, U. M. (2006). Life Span Theory in Developmental Psychology. In R. M. Lerner & W. Damon (Eds.), *Handbook of child psychology: Theoretical models of human development* (pp. 569–664). John Wiley & Sons Inc. <http://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-0025-7FD1-1>
- Baltes, P. B. & Willis, S. L. (1982). Plasticity and enhancement of intellectual functioning in old age: enn State's Adult Development and Enrichment Project (ADEPT). In F. I. M. Craik & S. Trehub (ed.), *Aging & Cognitive Processes: Advances in the Study of Communication and Affect*, Vol. 8 (pp. 353-389) . Plenum Press .
- Bamidis, P. D., Vivas, A. B., Styliadis, C., Frantzidis, C., Klados, M., Schlee, W., ... Papageorgiou, S. G. (2014). A review of physical and cognitive interventions in aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 44*, 206–220. doi: 10.1016/j.neubiorev.2014.03.019
- Bamidis, P. D., Fissler, P., Papageorgiou, S. G., Zilidou, V., Konstantinidis, E. I., Billis, A. S., Romanopoulou, E., Karagianni, M., Beratis, I., Tsapanou, A., Tsilikopoulou, G., Grigoriadou, E., Ladas, A., Kyrillidou, A., Tsolaki, A., Frantzidis, C., Sidiropoulos, E., Siountas, A., Matsi, S., Papatriantafyllou, J., ... Kolassa, I. T. (2015). Gains in cognition through combined cognitive and physical training: the role of training dosage and severity of neurocognitive disorder. *Frontiers in aging neuroscience, 7*, 152. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00152>
- Bao, S., Chan, V. T., & Merzenich, M. M. (2001). Cortical remodelling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons. *Nature, 412*(6842), 79–83. <https://doi.org/10.1038/35083586>
- Barberger-Gateau, P., Raffaitin, C., Letenneur, L., Berr, C., Tzourio, C., Dartigues, J.-F., & Alpérovitch, A. (2007). Dietary patterns and risk of dementia The Three-City cohort study. *Neurology, 69*(20), 1921–1930. doi:10.1212/01.wnl.0000278116.37320.52
- Barcelos, N., Shah, N., Cohen, K., Hogan, M. J., Mulkerrin, E., Arciero, P. J., Cohen, B. D., Kramer, A. F., & Anderson-Hanley, C. (2015). Aerobic and Cognitive Exercise (ACE) Pilot Study for Older Adults: Executive Function Improves with Cognitive Challenge While Exergaming. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS, 21*(10), 768–779. <https://doi.org/10.1017/S1355617715001083>

- Bargh, J. A., Chen, M., & Burrows, L. (1996). Automaticity of social behavior: Direct effects of trait construct and stereotype activation on action. *Journal of Personality and Social Psychology, 71*, 230-244. doi: 10.1037//0022-3514.71.2.230
- Barha, C. K., Davis, J. C., Falck, R. S., Nagamatsu, L. S., & Liu-Ambrose, T. (2017a). Sex differences in exercise efficacy to improve cognition: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials in older humans. *Frontiers in neuroendocrinology, 46*, 71-85. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2017.04.002>
- Barha, C. K., Galea, L. A., Nagamatsu, L. S., Erickson, K. I., & Liu-Ambrose, T. (2017b). Personalising exercise recommendations for brain health: considerations and future directions. *British journal of sports medicine, 51*(8), 636-639. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096710>
- Barnes J. N. (2015). Exercise, cognitive function, and aging. *Advances in physiology education, 39*(2), 55-62. <https://doi.org/10.1152/advan.00101.2014>
- Barnes, D. E., Yaffe, K., Satariano, W. A., & Tager, I. B. (2003). A longitudinal study of cardiorespiratory fitness and cognitive function in healthy older adults. *Journal of the American Geriatrics Society, 51*(4), 459-465. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2003.51153.x>
- Barnes, D. E., & Yaffe, K. (2011). The projected effect of risk factor reduction on Alzheimer's disease prevalence. *The Lancet. Neurology, 10*(9), 819-828. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70072-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70072-2)
- Barnes, L. L., De Leon, C. M., Wilson, R. S., Bienias, J. L., & Evans, D. A. (2004). Social resources and cognitive decline in a population of older African Americans and whites. *Neurology, 63*(12), 2322-2326. doi:10.1212/01.WNL.0000147473.04043.B3
- Barnes, D. E., Santos-Modesitt, W., Poelke, G., Kramer, A. F., Castro, C., Middleton, L. E., & Yaffe, K. (2013). The Mental Activity and eXercise (MAX) trial: a randomized controlled trial to enhance cognitive function in older adults. *JAMA internal medicine, 173*(9), 797-804. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.189>
- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin, 128*, 612-637. doi: 10.1037/0033-2909.128.4.612
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., & Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy videogame attenuate cognitive decline in adults? *Psychology and Aging, 23*, 765-777. doi: 10.1037/a0013494

- Basak, C., Voss, M. W., Erickson, K. I., Boot, W. R., & Kramer, A. F. (2011). Regional differences in brain volume predict the acquisition of skill in a complex real-time strategy video game. *Brain and Cognition*, 76, 407-414. doi: 10.1016/j.bandc.2011.03.017
- Basford, J. R., & Malec, J. F. (2015). Brief overview and assessment of the role and benefits of cognitive rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 96(6), 977-980. doi:10.1016/j.apmr.2015.02.025
- Bastien J.M.C. & Scapin D.L. (1992). A validation of ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 4, pp 183-196. doi.org/10.1080/10447319209526035
- Bavelier, D & Green, C.. (2019). Enhancing Attentional Control: Lessons from Action Video Games. *Neuron*. 104. 147-163. 10.1016/j.neuron.2019.09.031.
- Baynard, T., Pitetti, K.H., Guerra, M., Unnithan, V.B., & Fernhall, B. (2008). Age-related changes in aerobic capacity in individuals with mental impairment: a 20-yr review. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 40(11), 1984-9. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817f19a1.
- Bellander, M., Brehmer, Y., Westerberg, H., Karlsson, S., Fürth, D., Bergman, O., Eriksson, E., & Bäckman, L. (2011). Preliminary evidence that allelic variation in the LMX1A gene influences training-related working memory improvement. *Neuropsychologia*, 49(7), 1938-1942. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.03.021>
- Belleville, S., & Boller, B. (2016). Comprendre le stade compensatoire de la maladie d'Alzheimer et agir pour promouvoir la cognition et la plasticité cérébrale. *Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 70, 288-294. <https://doi.org/10.1037/cep0000087>
- Ben-Sadoun, G., Manera, V., Alvarez, J., Sacco, G., & Robert, P. (2018). Recommendations for the Design of Serious Games in Neurodegenerative Diseases. *Frontiers in aging neuroscience*, 10, 13. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00013>
- Beraud-Peigné, N., Maillot, P., & Perrot, A. (2021 en ligne). Impact d'un programme d'activité physique de coopération et d'opposition sur les fonctions exécutives de personnes âgées. *Neurologie, Psychiatrie, Geriatrie*. <https://doi.org/10.1016/j.npg.2021.08.002>
- Berryman, N., Bherer, L., Nadeau, S., Lauzière, S., Lehr, L., Bobeuf, F., Lussier, M., Kergoat, M. J., Vu, T. T., & Bosquet, L. (2014). Multiple roads lead to Rome: combined high-intensity aerobic and strength training vs. gross motor activities leads to equivalent improvement in executive

functions in a cohort of healthy older adults. *Age (Dordrecht, Netherlands)*, 36(5), 9710. <https://doi.org/10.1007/s11357-014-9710-8>

Beason-Held, L. L., Moghekar, A., Zonderman, A. B., Kraut, M. A., & Resnick, S. M. (2007). Longitudinal changes in cerebral blood flow in the older hypertensive brain. *Stroke*, 38(6), 1766-1773. doi: 10.1161/STROKEAHA.106.477109

Beck, M. M., Lind, R. R., Geertsens, S. S., Ritz, C., Lundbye-Jensen, J., & Wienecke, J. (2016). Motor-Enriched Learning Activities Can Improve Mathematical Performance in Preadolescent Children. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 645. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00645>

Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological bulletin*, 144(1), 77–110. <https://doi.org/10.1037/bul0000130>

Bennett, D. A., Arnold, S. E., Valenzuela, M. J., Brayne, C., & Schneider, J. A. (2014). Cognitive and social lifestyle: links with neuropathology and cognition in late life. *Acta neuropathologica*, 127(1), 137-150. doi:10.1007/s00401-013-1226-2

Benzing, V., & Schmidt, M. (2018). Exergaming for Children and Adolescents: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. *Journal of clinical medicine*, 7(11), 422. <https://doi.org/10.3390/jcm7110422>

Berchtold, N. C., Kesslak, J. P., Pike, C. J., Adlard, P. A., & Cotman, C. W. (2001). Estrogen and exercise interact to regulate brain-derived neurotrophic factor mRNA and protein expression in the hippocampus. *The European journal of neuroscience*, 14(12), 1992–2002. <https://doi.org/10.1046/j.0953-816x.2001.01825.x>

Berg, K. O., Wood-Dauphinee, S. L., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Canadian journal of public health = Revue canadienne de sante publique*, 83 Suppl 2, S7-S11.

Berg, P., Becker T., Martian A., Primrose K. D. & Wingen J. (2012). Motor control outcomes following Nintendo Wii use by a child with Down syndrome. *Pediatric Physical Therapy*, 24, 78-84. doi: 10.1097/PEP.0b013e31823e05e6.

Berkman, L. F. (2000). Which influences cognitive function: living alone or being alone? *The Lancet*, 355(9212), 1291-1292. doi:10.1016/s0140-6736(00)02107-3

Berkman, L. F., Glass, T., Brissette, I., & Seeman, T. E. (2000). From social integration to health: Durkheim in the new millennium. *Social science & medicine*, *51*(6), 843-857. doi:10.1016/s0277-9536(00)00065-4

Besombes, N., & Maillot, P. (2020). Body Involvement in Video Gaming as a Support for Physical and Cognitive Learning. *Games and Culture*, *15*(5), 565-584. <https://doi.org/10.1177/1555412018820426>

Bherer, L. (2015). Cognitive plasticity in older adults: effects of cognitive training and physical exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1337*(1), 1-6. doi:10.1111/nyas.12682

Bherer, L., Erickson, K. I., & Liu-Ambrose, T. (2013). A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *Journal of aging research*, *2013*, 657508. <https://doi.org/10.1155/2013/657508>

Bherer, L., Gagnon, C., Langeard, A., Lussier, M., Desjardins-Crépeau, L., Berryman, N., Bosquet, L., Vu, T., Fraser, S., Li, K., & Kramer, A. F. (2020). Synergistic effects of cognitive training and physical exercise on dual-task performance in older adults. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, gbaa124. Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbaa124>

Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Bécic, E. (2005). Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychology and Aging*, *20*, 695-709. doi: 10.1037/0882-7974.20.4.695

Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Bécic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: application to attentional control. *Acta psychologica*, *123*(3), 261-278. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.01.005>

Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Bécic, E. (2008). Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Experimental aging research*, *34*(3), 188-219. <https://doi.org/10.1080/03610730802070068>

Bielak, A., Gerstorff, D., Anstey, K. J., & Luszcz, M. A. (2014). Longitudinal associations between activity and cognition vary by age, activity type, and cognitive domain. *Psychology and aging*, *29*(4), 863-872. <https://doi.org/10.1037/a0036960>

- Binder, E. F., Storandt, M., & Birge, S. J. (1999). The relation between psychometric test performance and physical performance in older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 54(8), 428–432. doi: 10.1093/gerona/54.8.m428
- Bittles, A.H., & Glasson, E.J. (2004). Clinical, social, and ethical implications of changing life expectancy in Down syndrome. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 6(4), 282-6. doi: 10.1017/s0012162204000441
- Blaskewicz Boron, J., Turiano, N. A., Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2007). Effects of cognitive training on change in accuracy in inductive reasoning ability. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 62B(3), 179-186. doi: 10.1093/geronb/62.3
- Blasko, I., Jungwirth, S., Kemmler, G., Weissgram, S., Tragl, K. H., & Fischer, P. (2014). Leisure time activities and cognitive functioning in middle European population-based study. *European Geriatric Medicine*, 5(3), 200-207. doi:10.1016/j.eurger.2013.09.003
- Boisgontier, M. P., Beets, I. A., Duysens, J., Nieuwboer, A., Krampe, R. T., & Swinnen, S. P. (2013). Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: increased recruitment of generic cognitive resources in older adults. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 37(8), 1824–1837. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.014>
- Boller, B. & Belleville, S. (2016). Capacités de réserve et entraînement cognitif dans le vieillissement: similarité des effets protecteurs sur la cognition et le cerveau. *Revue de neuropsychologie*, 4(4), 245-252. <https://doi.org/10.3917/rne.084.0245>
- Bos, I., De Boever, P., Emmerechts, J., Buekers, J., Vanoirbeek, J., Meeusen, R., ... Panis, L. I. (2012). Changed gene expression in brains of mice exposed to traffic in a highway tunnel. *Inhalation Toxicology*, 24(10), 676–686. doi: 10.3109/08958378.2012.714004
- Boucard, G. K., Albinet, C. T., Bugajska, A., Bouquet, C. A., Clarys, D., & Audiffren, M. (2012). Impact of physical activity on executive functions in aging: a selective effect on inhibition among old adults. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(6), 808-827. doi: 10.1123/jsep.34.6.808
- Brady, M., & Kersten, D. (2003). Bootstrapped learning of novel objects. *Journal of Vision*, 3, 413-422. doi: 10.1167/3.6.2
- Brami, C., Trivalle, C., & Maillot, P. (2018). Faisabilité et intérêt de l'entraînement en exergames pour des patients Alzheimer en SLD. *Neurologie Psychiatrie Gériatrie*, 18, 235-244. Doi: 10.1016/j.npg.2018.04.003.

- Bronner, S., Pinsker, R., Naik, R., & Noah, J. A. (2016). Physiological and psychophysiological responses to an exer-game training protocol. *Journal of science and medicine in sport*, 19(3), 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.03.003>
- Brox, E., Fernández-Luque, L., Evertsen, G., & González-Hernández, J. (2011). Exergames for elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity. 2011 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) and Workshops, 546-549.
- Brown, L. A., Sleik, R. J., Polych, M. A., & Gage, W. H. (2002). Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults? *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(12), 785–792. doi: 10.1093/gerona/57.12.m785
- Brouwer, B., Musselman, K., & Culham, E. (2004). Physical function and health status among seniors with and without a fear of falling. *Gerontology*, 50(3), 135–141. doi: 10.1159/000076771
- Bruderer-Hofstetter, M., Rausch-Osthoff, A. K., Meichtry, A., Münzer, T., & Niedermann, K. (2018). Effective multicomponent interventions in comparison to active control and no interventions on physical capacity, cognitive function and instrumental activities of daily living in elderly people with and without mild impaired cognition - A systematic review and network meta-analysis. *Ageing research reviews*, 45, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2018.04.002>
- Buchner, D.M., Cress, M.E., de Lateur, B.J., Esselman, P.C., Margherita, A.J., Price, R., Wagner, E.H. (1997). The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 52A, 218–224. doi: 10.1093/gerona/52a.4.m218
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrabyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience letters*, 441(2), 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.06.024>
- Bunce, D. (2001). The locus of age x health-related physical fitness interactions in serial choice responding as a function of task complexity: Central processing or motor function? *Experimental Aging Research*, 27, 103-122. doi: 10.1080/713842729.
- Bunce, D., Barrowclough, A., & Morris, I. (1996). The moderating influence of physical fitness on age gradients in vigilance and serial choice responding tasks. *Psychology and Aging*, 11(4), 671-682. doi: 10.1037//0882-7974.11.4.671.

- Canabrava, K., Faria, F. R., Lima, J., Guedes, D. P., & Amorim, P. (2018). Energy Expenditure and Intensity of Active Video Games in Children and Adolescents. *Research quarterly for exercise and sport*, 89(1), 47–56. <https://doi.org/10.1080/02701367.2017.1411577>
- Canivet, A. & Audiffren, M. (2015) Activité physique et vieillissement cognitif: effets modulateurs du gène du facteur neurotrophique dérivé du cerveau. *STAPS : Revue internationale des sciences du sport et de l'éducation physique*, De Boeck Supérieur, 110 (4), pp.129. <https://doi.org/10.3917/sta.110.0129>
- Canivet, A., Albinet, C.T., André, N. *et al.* Effects of BDNF polymorphism and physical activity on episodic memory in the elderly: a cross sectional study (2015). *European Review of Aging and Physical Activity*, 12, 15. <https://doi.org/10.1186/s11556-015-0159-2>
- Carlson, M. C., Erickson, K. I., Kramer, A. F., Voss, M. W., Bolea, N., Mielke, M., McGill, S., Rebok, G. W., Seeman, T., & Fried, L. P. (2009). Evidence for neurocognitive plasticity in at-risk older adults: the experience corps program. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 64(12), 1275–1282. <https://doi.org/10.1093/gerona/glp117>
- Carmeli, E., Barchad, S., Lenger, R., & Coleman, R. (2002). Muscle power, locomotor performance and flexibility in aging mentally retarded adults with and without Down syndrome. *Musculoskeletal Neuronal Interaction*, 2, 457-462.
- Carro, E., Trejo, J. L., Busiguina, S., & Torres-Aleman, I. (2001). Circulating insulin-like growth factor I mediates the protective effects of physical exercise against brain insults of different etiology and anatomy. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 21(15), 5678–5684. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-15-05678.2001>
- Caspersen, C. J., Pereira, M. A., & Curran, K. M. (2000). Changes in physical activity patterns in the United States, by sex and cross-sectional age. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(9), 1601–1609. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009000-00013>
- Cassilhas, R.C., Viana, V.A., Grassmann, V., Santos, R.T., Santos, R.F., Tufik, S., et al. (2007). The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 1401-7. doi: 10.1249/mss.0b013e318060111f.
- Chan, J., Deng, K., Wu, J., & Yan, J. H. (2019). Effects of Meditation and Mind-Body Exercises on Older Adults' Cognitive Performance: A Meta-analysis. *The Gerontologist*, 59(6), e782–e790. <https://doi.org/10.1093/geront/gnz022>

- Chastan, N., Westby, G.W., Yelnik, J., Bardinet, E., Do, M-C, Agid, Y., et al. (2009a). Effects of nigral stimulation on locomotion and postural stability in patients with Parkinson's disease. *Brain*, *132*, 172-84. doi: 10.1093/brain/awn294.
- Chastan, N., Do, M-C, Bonneville, F., Tornay, F., Bloch, F., Westby GW, et al. (2009b). Gait and balance disorders in Parkinson's disease: impaired active braking of the fall of the centre of gravity. *Movement Disorders*, *24*, 188-95. doi: 10.1002/mds.22269.
- Chen, C.C., Ringenbach, S.D., Crews, D., Kulinna, P.H., & Amazeen, E.L. (2015). The association between a single bout of moderate physical activity and executive function in young adults with Down syndrome: a preliminary study. *Journal of Intellectual Disability Research*, *59*(7), 589-98. doi: 10.1111/jir.12163.
- Cheng, S.-T., Chow, P. K., Song, Y.-Q., Edwin, C. S., Chan, A. C., Lee, T. M., & Lam, J. H. (2014). Mental and physical activities delay cognitive decline in older persons with dementia. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *22*(1), 63-74. doi: 10.1016/j.jagp.2013.01.060.
- Cherbuin, N & Anstey, K. (2011). The Mediterranean Diet is Not Related to Cognitive Change in a Large Prospective Investigation: The PATH Through Life Study. *The American journal of geriatric psychiatry : official journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*. *20*. 635-9. doi: 10.1097/JGP.0b013e31823032a9.
- Chong, R.K., Chastan, N., Welter, M.L., Do, M-C. (2009). Age-related changes in the center of mass velocity control during walking. *Neuroscience Letters*, *458*, 23-7. doi: 10.1016/j.neulet.2009.04.022.
- Chuang, L. Y., Hung, H. Y., Huang, C. J., Chang, Y. K., & Hung, T. M. (2015). A 3-month intervention of Dance Dance Revolution improves interference control in elderly females: a preliminary investigation. *Experimental brain research*, *233*(4), 1181-1188. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4196-x>
- Churchill, J. D., Galvez, R., Colcombe, S., Swain, R. A., Kramer, A. F., & Greenough, W. T. (2002). Exercise, experience and the aging brain. *Neurobiology of aging*, *23*(5), 941-955. [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(02\)00028-3](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(02)00028-3)
- Clark, J. E., Lanphear, A. K., & Riddick, C. C. (1987). The effects of videogame playing on the response selection processing of elderly adults. *Journal of Gerontology*, *42*, 82-5. doi: 10.1093/geronj/42.1.82.

- Clarkson-Smith, L., & Hartley, A. A. (1989). Relationships between physical exercise and cognitive abilities in older adults. *Psychology and aging*, 4(2), 183–189. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.4.2.183>
- Coelho, F. G. de M., Andrade, L. P., Pedroso, R. V., Santos-Galduroz, R. F., Gobbi, S., Costa, J., & Gobbi, L. (2013). Multimodal exercise intervention improves frontal cognitive functions and gait in Alzheimer's disease: A controlled trial. *Geriatrics & Gerontology International*, 13(1), 198–203. doi: 10.1111/j.1447-0594.2012.00887.x.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological science*, 14(2), 125–130. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01430>
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., & Scalf, P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness: recent findings and future directions. *Journal of molecular neuroscience : MN*, 24(1), 9–14. <https://doi.org/10.1385/JMN:24:1:009>
- Colombo, M., Marelli, E., Vaccaro, R., Valle, E., Colombani, S., Garolfi, S., Fossi, S., Guaita, E., Polesel F., (2012). Virtual reality for persons with dementia: An exergaming experience. *Gerontechnology*, 11(2), 402. Doi:10.4017/gt.2012.11.02.253.00
- Comboureu, L., Perrot, A., Bloch, F., Belleville, S., & Kemoun, G (2018). Effects of simultaneous aerobic and cognitive training on executive functions, cardiovascular fitness and functional abilities in older adults with mild cognitive impairment. *Mental Health and Physical Activity*. 15, 78-87. doi.org/10.1016/j.mhpa.2018.06.001.
- Corrigan, J. D., & Hinkeldey, N. S. (1987). Relationships between parts A and B of the Trail Making Test. *Journal of Clinical Psychology*, 43(4), 402–409. doi: 10.1002/1097-4679(198707)43:4<402::aid-jclp2270430411>3.0.co;2-e.
- Cotman, C. W., & Berchtold, N. C. (2002). Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neurosciences*, 25(6), 295–301. doi: 10.1016/s0166-2236(02)02143-4.
- Cotman, C. W., Berchtold, N. C., & Christie, L. A. (2007). Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in neurosciences*, 30(9), 464–472. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.06.011>

- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper & Row
- Cumming, R.G., Salkeld, G., Thomas, M., & Szonyi, G. (2000). Prospective study of the impact of fear of falling on activities of daily living, SF-36 scores, and nursing home admission. *Journals of Gerontology Series A-Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(5), 299–305. doi: 10.1093/gerona/55.5.m299.
- Cunnane, S. C., Plourde, M., Pifferi, F., Bégin, M., Féart, C., & Barberger-Gateau, P. (2009). Fish, docosahexaenoic acid and Alzheimer's disease. *Progress in lipid research*, 48(5), 239-256. doi:10.1016/j.plipres.2009.04.001
- Dahlin, E., Neely, A., Larsson, A., Bäckman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320, 1510-1512. doi: 10.1126/science.1155466.
- De Andrade, L. P., Gobbi, L. T. B., Coelho, F. G. M., Christofolletti, G., Riani Costa, J. L., & Stella, F. (2013). Benefits of multimodal exercise intervention for postural control and frontal cognitive functions in individuals with Alzheimer's disease: a controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61(11), 1919–1926. doi: 10.1111/jgs.12531.
- Deary, I. J., Wright, A. F., Harris, S. E., Whalley, L. J., & Starr, J. M. (2004). Searching for genetic influences on normal cognitive ageing. *Trends in cognitive sciences*, 8(4), 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.008>
- Desjardins-Crépeau, L., Berryman, N., Fraser, S. A., Vu, T. T., Kergoat, M. J., Li, K. Z., Bosquet, L., & Bherer, L. (2016). Effects of combined physical and cognitive training on fitness and neuropsychological outcomes in healthy older adults. *Clinical interventions in aging*, 11, 1287–1299. <https://doi.org/10.2147/cia.s115711>
- de Vries, G. J., & Forger, N. G. (2015). Sex differences in the brain: a whole body perspective. *Biology of sex differences*, 6, 15. <https://doi.org/10.1186/s13293-015-0032-z>
- Djehbari, N., Farcet, A., Cara, I., Khalili, A., Perrot, A., & Mezière, A. (2020). Les effets d'un programme d'activité physique adaptée par exergames sur les capacités physiques et la peur de chuter en milieu hospitalier gériatrique. 40èmes Journées Annuelles de la Société Française de Gériatrie et Gérontologie. Novembre 2020, Paris.
- Di Marco, L. Y., Marzo, A., Muñoz-Ruiz, M., Ikram, M. A., Kivipelto, M., Ruefenacht, D., ... & Frangi, A. F. (2014). Modifiable lifestyle factors in dementia: a systematic review of longitudinal

observational cohort studies. *Journal of Alzheimer's Disease*, 42(1), 119-135.
10.3233/JAD132225

Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 35(6), 1305–1325.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.02.001>

Dishman, R. K., Motl, R. W., Saunders, R., Felton, G., Ward, D. S., Dowda, M., & Pate, R. R. (2005). Enjoyment mediates effects of a school-based physical-activity intervention. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(3), 478–487.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000155391.62733.a7>

Doi, T., Shimada, H., Makizako, H., Tsutsumimoto, K., Uemura, K., Anan, Y., & Suzuki, T. (2014). Cognitive function and gait speed under normal and dual-task walking among older adults with mild cognitive impairment. *BMC Neurology*, 14(1), 67. doi: 10.1186/1471-2377-14-67.

Dougherty, J., Kancel, A., Ramar, C., Meacham, C., Derrington, S. (2011). The effects of a multi-axis balance board intervention program in an elderly population. *Missouri Medicine*, 108,128-32

Drew, D., & Waters, J. (1986). Video games: Utilization of a novel strategy to improve perceptual motor skills and cognitive functioning in the non-institutionalized elderly. *Cognitive Rehabilitation*, 4, 26-31.

Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., & Pillon, B. (2000). The FAB: a Frontal Assessment Battery at bedside. *Neurology*, 55(11), 1621–1626. doi: 10.1212/wnl.55.11.1621.

Dugbartey, A. T., Sanchez, P. N., Gail Rosenbaum, J., Mahurin, R. K., Mark Davis, J., & Townes, B. D. (1999). WAIS-III matrix reasoning test performance in a mixed clinical sample. *The Clinical Neuropsychologist*, 13(4), 396–404. doi:10.1076/1385-4046(199911)13:04;1-Y;FT396

Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, W., Shigeoka, J. W.,... Bradford, D. C. (1984). Aerobic exercise training and improved neurophysiological function of older adults. *Neurobiology of Aging*, 5, 35-42. doi: 10.1016/0197-4580(84)90083-6.

Dustman, R. E., Emmerson, R. Y., Steinhaus, L. A., Shearer, D. E., & Dustman, T. J. (1992). The effects of videogame playing on neuropsychological performance of elderly individuals. *Journal of Gerontology*, 47, 168-171. doi: 10.1093/geronj/47.3.p168.

Dustman, R., Emmerson, R., & Shearer, D.E. (1994). Physical Activity, Age, and Cognitive-Neuropsychological Function. *Journal of Aging and Physical Activity*, 2, 143-181. <https://doi.org/10.1123/japa.2.2.143>

Dye, Matthew & Green, C.S. & Bavelier, Daphne. (2009). The development of attention skills in action video game players. *Neuropsychologia*. 47. 1780-9. [10.1016/j.neuropsychologia.2009.02.002](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.02.002).

Eggenberger, P., Schumacher, V., Angst, M., Theill, N., & de Bruin, E. D. (2015). Does multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training boost cognitive performance in older adults? A 6-month randomized controlled trial with a 1-year follow-up. *Clinical interventions in aging*, 10, 1335–1349. <https://doi.org/10.2147/CIA.S87732>

Eggermont, L. H., Milberg, W. P., Lipsitz, L. A., Scherder, E. J., & Leveille, S. G. (2009). Physical activity and executive function in aging: the MOBILIZE Boston Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 57(10), 1750–1756. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2009.02441.x>

Elferink-Gemser, M. T., Faber, I. R., Visscher, C., Hung, T. M., De Vries, S. J., & Nijhuis-Van der Sanden, M. W. (2018). Higher-level cognitive functions in Dutch elite and sub-elite table tennis players. *PloS one*, 13(11), e0206151

Eng, P. M., Rimm, E. B., Fitzmaurice, G., & Kawachi, I. (2002). Social ties and change in social ties in relation to subsequent total and cause-specific mortality and coronary heart disease incidence in men. *American journal of epidemiology*, 155(8), 700–709. [doi:10.1093/aje/155.8.700](https://doi.org/10.1093/aje/155.8.700)

Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Elavsky, S., McAuley, E., Korol, D. L., Scalf, P. E., & Kramer, A. F. (2007). Interactive effects of fitness and hormone treatment on brain health in postmenopausal women. *Neurobiology of aging*, 28(2), 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.11.016>

Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2009). Aerobic exercise effects on cognitive and neural plasticity in older adults. *British journal of sports medicine*, 43(1), 22–24. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.052498>

Erickson, K., Hillman, C., & Kramer, A. (2015). Physical activity, brain, and cognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, 27-32. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.01.005>

- Erickson, K. I., Boot, W. R., Basak, C., Neider, M. B., Prakash, R. S., Voss, M. W.,... Kramer, A. F. (2010). Striatal volume predicts level of video game skill acquisition. *Cerebral Cortex*, *20*, 2522-2530. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp293>
- Erixon-Lindroth, N., Farde, L., Wahlin, T. B., Sovago, J., Halldin, C., & Bäckman, L. (2005). The role of the striatal dopamine transporter in cognitive aging. *Psychiatry research*, *138*(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2004.09.005>
- Erten-Lyons, D., R. L. Woltjer, et al. (2009). "Factors associated with resistance to dementia despite high Alzheimer disease pathology." *Neurology* *72*(4): 354-360. doi: 10.1212/01.wnl.0000341273.18141.64.
- Eskes, G. A., Longman, S., Brown, A. D., McMorris, C. A., Langdon, K. D., Hogan, D. B., & Poulin, M. (2010). Contribution of physical fitness, cerebrovascular reserve and cognitive stimulation to cognitive function in post-menopausal women. *Frontiers in aging neuroscience*, *2*, 137. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00137>
- Etnier, J. L., & Chang, Y. K. (2009). The effect of physical activity on executive function: a brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *Journal of sport & exercise psychology*, *31*(4), 469-483. <https://doi.org/10.1123/jsep.31.4.469>
- Etnier, J. L., & Landers, D. M. (1998). Motor performance and motor learning as a function of age and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *69*(2), 136-146. doi: 10.1080/02701367.1998.10607679
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: a meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *19*(3), 249-277. [10.1123/jsep.19.3.249](https://doi.org/10.1123/jsep.19.3.249)
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain research reviews*, *52*(1), 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.01.002>
- Fabel, K., & Kempermann, G. (2008). Physical activity and the regulation of neurogenesis in the adult and aging brain. *Neuromolecular medicine*, *10*(2), 59-66. <https://doi.org/10.1007/s12017-008-8031-4>
- Fabel, K., Wolf, S. A., Ehninger, D., Babu, H., Leal-Galicia, P., & Kempermann, G. (2009). Additive effects of physical exercise and environmental enrichment on adult hippocampal neurogenesis in mice. *Frontiers in neuroscience*, *3*, 50. <https://doi.org/10.3389/neuro.22.002.2009>

Fabrigoule, C., Letenneur, L., Dartigues, J. F., Zarrouk, M., Commenges, D., & Barberger-Gateau, P. (1995). Social and leisure activities and risk of dementia: a prospective longitudinal study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 43(5), 485–490. doi:10.1111/j.1532-5415.1995.tb06093.x

Fagot, D., Chicherio, C., Albinet, C. T., André, N., & Audiffren, M. (2019). The impact of physical activity and sex differences on intraindividual variability in inhibitory performance in older adults. *Neuropsychology, development, and cognition. Section B, Aging, neuropsychology and cognition*, 26(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1372357>

Falbo, S., Condello, G., Capranica, L., Forte, R., & Pesce, C. (2016). Effects of Physical-Cognitive Dual Task Training on Executive Function and Gait Performance in Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *BioMed research international*, 2016, 5812092. <https://doi.org/10.1155/2016/5812092>

Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological science*, 18(10), 850–855. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x>

Fiatarone Singh, M. A., Gates, N., Saigal, N., Wilson, G. C., Meiklejohn, J., Brodaty, H., Wen, W., Singh, N., Baune, B. T., Suo, C., Baker, M. K., Foroughi, N., Wang, Y., Sachdev, P. S., & Valenzuela, M. (2014). The Study of Mental and Resistance Training (SMART) study—resistance training and/or cognitive training in mild cognitive impairment: a randomized, double-blind, double-sham controlled trial. *Journal of the American Medical Directors Association*, 15(12), 873–880. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2014.09.010>

Finlayson, J., Jackson, A., Cooper, S., Morrison, J., Melville, C., Smiley, E., Allan, L. & Mantry, D. (2009), Understanding Predictors of Low Physical Activity in Adults with Intellectual Disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 22, 236-247. doi:10.1111/j.1468-3148.2008.00433.x.

Fissler, P., Küster, O., Schlee, W., & Kolassa, I.-T. (2013). Novelty interventions to enhance broad cognitive abilities and prevent dementia: synergistic approaches for the facilitation of positive plastic change. *Progress in Brain Research*, 207, 403–434. doi: 10.1016/B978-0-444-63327-9.00017-5

Flicker, C., Ferris, S. H., & Reisberg, B. (1991). Mild cognitive impairment in the elderly Predictors of dementia. *Neurology*, 41(7), 1006–1006. doi: 10.1212/wnl.41.7.1006.

Fontaine R. (2007). *Psychologie du vieillissement*. Paris: Dunod.

- Fraser, S., & Bherer, L. (2013). Age-related decline in divided-attention: from theoretical lab research to practical real-life situations. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science*, 4(6), 623–640. <https://doi.org/10.1002/wcs.1252>
- Fratiglioni, L., Paillard-Borg, S., & Winblad, B. (2004). An active and socially integrated lifestyle in late life might protect against dementia. *The Lancet Neurology*, 3(6), 343–353. doi:10.1016/s1474-4422(04)00767-7
- Freeman, S., Spirgiene, L., Martin-Khan, M., & Hirdes, J. P. (2016). Relationship between restraint use, engagement in social activity, and decline in cognitive status among residents newly admitted to long-term care facilities. *Geriatrics & gerontology international*, 17(2), 246- 255. doi:10.1111/ggi.12707
- Fritsch, T., Smyth, K. A., Debanne, S. M., Petot, G. J., & Friedland, R. P. (2005). Participation in Novelty-Seeking Leisure Activities and Alzheimer's Disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 18(3), 134–141. <https://doi.org/10.1177/0891988705277537>
- Fromage, B., & Anglade, P. (2002). The aging of Down's Syndrome subjects. *Encephale*. 28(3), 212-6. PMID: 12091781.
- Gallou-Guyot, M., Mandigout, S., Bherer, L., & Perrochon, A. (2020). Effects of exergames and cognitive-motor dual-task training on cognitive, physical and dual-task functions in cognitively healthy older adults: An overview. *Ageing research reviews*, 63, 101135. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101135>
- Garraux, G., Peigneux, P., Carson, R. E., & Hallett, M. (2007). Task-related interaction between basal ganglia and cortical dopamine release. *Journal of Neuroscience*, 27, 14434-14441. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1595-07.2007.
- Gardner, M., Robertson, M., & Campbell, A. (2000). Exercise in preventing falls and fall related injuries in older people: a review of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 34(1), 7–17. doi: 10.1136/bjism.34.1.7.
- Gauthier, S., Reisberg, B., Zaudig, M., Petersen, R. C., Ritchie, K., Broich, K., ... others. (2006). Mild cognitive impairment. *The Lancet*, 367(9518), 1262–1270. doi: 10.1016/S0140-6736(06)68542-5.
- Gearin, B. M., & Fien, H. (2016). Translating the neuroscience of physical activity to education. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(1), 12-19. doi:10.1016/j.tine.2016.02.001

Geusgens, C., Winkens, L., Van Heugten, C., Jolies, L., & Van den Heuvel, W. (2007). Occurrence and measurement of transfer in cognitive rehabilitation: a critical review. *Journal of rehabilitation medicine*, 39, 425-439. doi: 10.2340/16501977-0092.

Gheysen, F., Poppe, L., DeSmet, A., Swinnen, S., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., Chastin, S., & Fias, W. (2018). Physical activity to improve cognition in older adults: can physical activity programs enriched with cognitive challenges enhance the effects? A systematic review and meta-analysis. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 15(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0697-x>

Gillespie, L.D., Gillespie, W.J., Robertson, M.C., Lamb, S.E., Cumming, R.G., & Rowe, B.H. (2009). Interventions for preventing falls in elderly people. *Cochrane Database Systematic Reviews*, 2003;(4):CD000340

Gillespie, L.D., Robertson, M.C., Gillespie, W.J., Sherrington, C., Gates, S., Clemson, L.M., & Lamb, S.E. (2012). Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12 (9), CD007146.

Glei, D. A., Landau, D. A., Goldman, N., Chuang, Y. L., Rodríguez, G., & Weinstein, M. (2005). Participating in social activities helps preserve cognitive function: an analysis of a longitudinal, population-based study of the elderly. *International journal of epidemiology*, 34, 864-871. doi: 10.1093/ije/dyi049.

Godfrey, R. J., Madgwick, Z., & Whyte, G. P. (2003). The exercise-induced growth hormone response in athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(8), 599-613. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333080-00005>.

Goetzmann M., & Zuppinger T., (2016) « Dossier de l'été : les jeux vidéo, terrain philosophique ? » [archive], *Implications Philosophiques*.

Gómez R. L. (2002). Variability and detection of invariant structure. *Psychological science*, 13(5), 431-436. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00476>.

Gómez-Pinilla, F. (2008). Brain foods: the effects of nutrients on brain function. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(7), 568-578. doi:10.1038/nrn2421

Gomez-Pinilla, F., & Hillman, C. (2013). The influence of exercise on cognitive abilities. *Comprehensive Physiology*, 3(1), 403-428. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110063>

González-Colaço Harmand, M., Meillon, C., Rullier, L., Avila-Funes, J. A., Bergua, V., Dartigues, J. F., & Amieva, H. (2014). Cognitive decline after entering a nursing home: a 22-year follow-up study

of institutionalized and noninstitutionalized elderly people. *Journal of the American Medical Directors Association*, 15(7), 504–508. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2014.02.006>

Gopher, D., Well, M., & Bareket, T. (1994). Transfer of Skill from a Computer Game Trainer to Flight. *Human Factors*, 36(3), 387–405. <https://doi.org/10.1177/001872089403600301>

Gow, A. J., Pattie, A., & Deary, I. J. (2017). Lifecourse Activity Participation From Early, Mid, and Later Adulthood as Determinants of Cognitive Aging: The Lothian Birth Cohort 1921. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 72(1), 25–37. doi:10.1093/geronb/gbw124

Grande, G., Vanacore, N., Maggiore, L., Cucumo, V., Ghiretti, R., Galimberti, D., ... Clerici, F. (2014). Physical activity reduces the risk of dementia in mild cognitive impairment subjects: a cohort study. *Journal of Alzheimer's Disease*, 39(4), 833–839. doi: 10.3233/JAD-131808.

Graves, L. E., Ridgers, N. D., Williams, K., Stratton, G., Atkinson, G., & Cable, N. T. (2010). The physiological cost and enjoyment of Wii Fit in adolescents, young adults, and older adults. *Journal of Physical Activity and Health*, 7, 393-401. doi: 10.1123/jpah.7.3.393.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video games modify visual selective attention. *Nature*, 423, 534-537. doi: 10.1038/nature01647.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Effects of action video game playing on the spatial distribution of visual selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 1465-1478. doi: 10.1037/0096-1523.32.6.1465.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising Your Brain: A Review of Human Brain Plasticity and Training-Induced Learning. *Psychology and Aging*, 23, 692-701. doi: 10.1037/a0014345.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Current biology : CB*, 22(6), R197–R206. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.02.012>

Grégoire, C. A., Berryman, N., St-Onge, F., Vu, T., Bosquet, L., Arbour, N., & Bherer, L. (2019). Gross Motor Skills Training Leads to Increased Brain-Derived Neurotrophic Factor Levels in Healthy Older Adults: A Pilot Study. *Frontiers in physiology*, 10, 410. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00410>

Gschwind, Y. J., Eichberg, S., Ejupi, A., de Rosario, H., Kroll, M., Marston, H. R., Drobnics, M., Annegarn, J., Wieching, R., Lord, S. R., Aal, K., Vaziri, D., Woodbury, A., Fink, D., & Delbaere, K. (2015). ICT-based system to predict and prevent falls (iStoppFalls): results from an international multicenter randomized controlled trial. *European review of aging and physical activity : official*

journal of the European Group for Research into Elderly and Physical Activity, 12, 10.
<https://doi.org/10.1186/s11556-015-0155-6>

Guillemin, F., Paul-Dauphin, A., Virion, J. M., Bouchet, C., & Briançon, S. (1997). Le Profil de santé de DUKE: un instrument générique de mesure de qualité de vie liée à la santé. *Sante publique (Vandoeuvre-les-Nancy, France)*, 9(1), 35–44.

Gur, R.C. & Gur, R.E. (2017), Complementarity of sex differences in brain and behavior: From laterality to multimodal neuroimaging. *Journal of Neuroscience Research*, 95: 189-199.
<https://doi.org/10.1002/jnr.23830>

Guralnik, J. M., Ferrucci, L., Pieper, C. F., Leveille, S. G., Markides, K. S., Ostir, G. V., Studenski, S., Berkman, L. F., & Wallace, R. B. (2000). Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 55(4), M221–M231. <https://doi.org/10.1093/gerona/55.4.m221>

Habacha, H., Molinaro, C., & Dosseville, F. (2014). Effects of Gender, Imagery Ability, and Sports Practice on the Performance of a Mental Rotation Task. *The American journal of psychology*, 127(3), 313–323. doi:10.5406/amerjpsyc.127.3.0313

Hagovska, M., & Nagyova, I. (2016). The transfer of skills from cognitive and physical training to activities of daily living: a randomised controlled study. *European journal of ageing*, 14(2), 133–142. <https://doi.org/10.1007/s10433-016-0395-y>

Hampstead, B. M., Sathian, K., Phillips, P. A., Amaraneni, A., Delaune, W. R., & Stringer, A. Y. (2012). Mnemonic strategy training improves memory for object location associations in both healthy elderly and patients with amnesic mild cognitive impairment: a randomized, single-blind study. *Neuropsychology*, 26(3), 385–399. <https://doi.org/10.1037/a0027545>

Hauer, K., Rost, B., Rüttschle, K., Opitz, H., Specht, N., Bärtsch, P., et al. (2001). Exercise 4 training for rehabilitation and secondary prevention of falls in geriatric patients with a 5 history of injurious falls. *Journal of American Geriatric Society*, 49, 10–20. doi: 10.1046/j.1532-5415.2001.49004.x.

Hausdorff, J. M., Schweiger, A., Herman, T., Yogev-Seligmann, G., & Giladi, N. (2008). Dual-task decrements in gait: contributing factors among healthy older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(12), 1335–1343. doi: 10.1093/gerona/63.12.1335.

Hemingway, H., & Marmot, M. (1999). Psychosocial factors in the aetiology and prognosis of coronary heart disease: systematic review of prospective cohort studies. *British Medical Journal*, *318*(7196), 1460. doi: 10.1136/bmj.318.7196.1460.

Herold, F., Hamacher, D., Schega, L., & Müller, N. G. (2018). Thinking while moving or moving while thinking—Concepts of motor-cognitive training for cognitive performance enhancement. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *10*, Article 228. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00228>

Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2008). Enrichment Effects on Adult Cognitive Development: Can the Functional Capacity of Older Adults Be Preserved and Enhanced?. *Psychological science in the public interest : a journal of the American Psychological Society*, *9*(1), 1–65. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2009.01034.x>

Hilgenkamp, T.I., Reis, D., van Wijck, R., & Evenhuis, H.M. (2012). Physical activity levels in older adults with intellectual disabilities are extremely low. *Research in Developmental Disabilities*, *33*(2), 477-83. doi: 10.1016/j.ridd.2011.10.011.

Hillman, C. H., Castelli, D. M., & Buck, S. M. (2005). Aerobic fitness and neurocognitive function in healthy preadolescent children. *Medicine and science in sports and exercise*, *37*(11), 1967–1974. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000176680.79702.ce>

Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature reviews. Neuroscience*, *9*(1), 58–65. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>

Hillman, C. H., Khan, N. A., & Kao, S. C. (2015). The Relationship of Health Behaviors to Childhood Cognition and Brain Health. *Annals of nutrition & metabolism*, *66 Suppl 3*, 1–4. <https://doi.org/10.1159/000381237>

Hillman, C. H., Weiss, E. P., Hagberg, J. M., & Hatfield, B. D. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology*, *39*(3), 303–312. <https://doi.org/10.1017/S0048577201393058>

Hillman, C. H., Motl, R. W., Pontifex, M. B., Posthuma, D., Stubbe, J. H., Boomsma, D. I., & de Geus, E. (2006). Physical activity and cognitive function in a cross-section of younger and older community-dwelling individuals. *Health psychology : official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *25*(6), 678–687. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.25.6.678>

Holtzer, R., Friedman, R., Lipton, R. B., Katz, M., Xue, X., & Verghese, J. (2007). The relationship between specific cognitive functions and falls in aging. *Neuropsychology*, *21*(5), 540–548. doi: 10.1037/0894-4105.21.5.540.

Holtzer, R., Shuman, M., Mahoney, J. R., Lipton, R., & Verghese, J. (2011). Cognitive fatigue defined in the context of attention networks. *Neuropsychology, development, and cognition. Section B, Aging, neuropsychology and cognition*, *18*(1), 108–128. <https://doi.org/10.1080/13825585.2010.517826>

Holzapfel, S.D., Ringenbach, S.D., Mulvey, G.M., Sandoval-Menendez, A.M., Cook, M.R., Ganger, R.O., & Bennett, K. (2015). Improvements in manual dexterity relate to improvements in cognitive planning after assisted cycling therapy (ACT) in adolescents with down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, *45-46*, 261-70. doi: 10.1016/j.ridd.2015.08.003.

Honeine, J. L., Schieppati, M., Gagey, O., & Do, M. C. (2013). The functional role of the triceps surae muscle during human locomotion. *PloS one*, *8*(1), e52943. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052943>

Horowitz, A. M., Fan, X., Bieri, G., Smith, L. K., Sanchez-Diaz, C. I., Schroer, A. B., Gontier, G., Casaletto, K. B., Kramer, J. H., Williams, K. E., & Villeda, S. A. (2020). Blood factors transfer beneficial effects of exercise on neurogenesis and cognition to the aged brain. *Science (New York, N.Y.)*, *369*(6500), 167–173. <https://doi.org/10.1126/science.aaw2622>

Horr, T., Messinger-Rapport, B., & Pillai, J. A. (2015). Systematic review of strengths and limitations of randomized controlled trials for non-pharmacological interventions in mild cognitive impairment: focus on Alzheimer's disease. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, *19*(2), 141–153. doi: 10.1007/s12603-014-0565-6.

Hötting, K., & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(9), 2243-2257. doi:10.1016/j.neubiorev.2013.04.005

Howe, T.E., Rochester, L., Jackson, A., Banks, P.M.H., Blair, V. A. (2007). Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, *17*(4), CD004963

Howley, E. T. (2001). Type of activity: Resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*, 364-69. doi: 10.1097/00005768-200106001-00005.

Huang, T., Larsen, K. T., Ried-Larsen, M., Møller, N. C., & Andersen, L. B. (2014). The effects of physical activity and exercise on brain-derived neurotrophic factor in healthy humans: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/sms.12069>

Huang K. T. (2020). Exergaming Executive Functions: An Immersive Virtual Reality-Based Cognitive Training for Adults Aged 50 and Older. *Cyberpsychology, behavior and social networking*, 23(3), 143–149. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0269>

Huckans, M., Hutson, L., Twamley, E., Jak, A., Kaye, J., & Storzbach, D. (2013). Efficacy of cognitive rehabilitation therapies for Mild Cognitive Impairment (MCI) in older adults: working toward a theoretical model and evidence-based interventions. *Neuropsychology Review*, 23(1), 63–80. doi: 10.1007/s11065-013-9230-9.

Hughes, S. L., Seymour, R. B., Campbell, R. T., Whitelaw, N., & Bazzarre, T. (2009). Best-practice physical activity programs for older adults: Findings from the national impact study. *American Journal of Public Health*, 99, 362–368. doi: 10.2105/AJPH.2007.131466.

Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., & Dixon, R. A. (1999). Use it or lose it: engaged lifestyle as a buffer of cognitive decline in aging? *Psychology and aging*, 14(2), 245–263. doi:10.1037/0882-7974.14.2.245

Huygelier, H., Schraepen, B., van Ee, R., Vanden Abeele, V., & Gillebert, C. R. (2019). Acceptance of immersive head-mounted virtual reality in older adults. *Scientific Reports*, 9(1), 4519. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41200-6>

Iachini, T., Maffei, L., Masullo, M., Senese, V. P., Rapuano, M., Pascale, A., Sorrentino, F., & Ruggiero, G. (2019). The experience of virtual reality: are individual differences in mental imagery associated with sense of presence?. *Cognitive processing*, 20(3), 291–298. <https://doi.org/10.1007/s10339-018-0897-y>

Iacono, D., R. O'Brien, et al. (2008). "Neuronal hypertrophy in asymptomatic Alzheimer disease." *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 67(6): 578-589. doi: 10.1097/NEN.0b013e3181772794.

Inserm (2015). *Activité physique et prévention des chutes chez les personnes âgées*. Collection Expertise collective. Montrouge : EDP Sciences.

Inserm (2016). *Déficiences intellectuelles*. Collection Expertise collective. Montrouge : EDP Sciences.

Iwasaki, M., Otani, T., Sunaga, R., Miyazaki, H., Xiao, L., Wang, N., ... & Suzuki, S. (2002). Social networks and mortality based on the Komo-Ise cohort study in Japan. *International journal of epidemiology*, 31(6), 1208-1218. doi: 10.1093/ije/31.6.1208.

Jonides, J. (2004). How does practice makes perfect? *Nature Neuroscience*, 7, 10-11. doi: 10.1038/nn0104-10.

Jopp, D., & Hertzog, C. (2007). Activities, self-referent memory beliefs, and cognitive performance: evidence for direct and mediated relations. *Psychology and aging*, 22(4), 811. doi:10.1037/0882-7974.22.4.811

Jung, D. (2008). Fear of Falling in Older Adults: Comprehensive Review. *Asian Nursing Research*, 2(4), 214–222. doi: 10.1016/S1976-1317(09)60003-7.

Kalafat, M., Hugonot-Diener, L., & Poitrenaud, J. (2003). Standardisation et étalonnage français du "Mini Mental State" (MMS) version GRÉCO [French standardization and range for the GRECO version of the "Mini Mental State" (MMS)]. *Revue de Neuropsychologie*, 13(2), 209–236.

Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T., & Camerer, C. F. (2009). The wick in the candle of learning: epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory. *Psychological science*, 20(8), 963–973. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02402.x>

Kantak, S. S., Sullivan, K. J., Fisher, B. E., Knowlton, B. J., & Winstein, C. J. (2010). Neural substrates of motor memory consolidation depend on practice structure. *Nature neuroscience*, 13(8), 923–925. <https://doi.org/10.1038/nn.2596>

Katzman, R., Terry, R., DeTeresa, R., Brown, T., Davies, P., Fuld, P., Renbing, X., & Peck, A. (1988). Clinical, pathological, and neurochemical changes in dementia: a subgroup with preserved mental status and numerous neocortical plaques. *Annals of neurology*, 23(2), 138–144. <https://doi.org/10.1002/ana.410230206>

Kareholt, I., Lennartsson, C., Gatz, M., & Parker, M. G. (2011). Baseline leisure time activity and cognition more than two decades later. *International journal of geriatric psychiatry*, 26(1), 65–74. doi:10.1002/gps.2490

Karssemeijer, E., Aaronson, J. A., Bossers, W., Donders, R., Olde Rikkert, M., & Kessels, R. (2019). The quest for synergy between physical exercise and cognitive stimulation via exergaming in people with dementia: a randomized controlled trial. *Alzheimer's research & therapy*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13195-018-0454-z>

- Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., & Brennan, S. (2014). The impact of exercise on the cognitive functioning of healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, *16*, 12-31. doi:10.1016/j.arr.2014.05.002
- Kemper, S., Herman, R. E., & Lian, C. H. T. (2003). The costs of doing two things at once for young and older adults: Talking while walking, finger tapping, and ignoring speech of noise. *Psychology and Aging*, *18*(2), 181-192. doi: 10.1037/0882-7974.18.2.181.
- Kempermann, G., Fabel, K., Ehninger, D., Babu, H., Leal-Galicia, P., Garthe, A., & Wolf, S. A. (2010). Why and how physical activity promotes experience-induced brain plasticity. *Frontiers in neuroscience*, *4*, 189. <https://doi.org/10.3389/fnins.2010.00189>.
- Kennedy, K. M., & Raz, N. (2009). Aging white matter and cognition: differential effects of regional variations in diffusion properties on memory, executive functions, and speed. *Neuropsychologia*, *47*, 916-927. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.001.
- Kesse-Guyot, E., Andreeva, V. A., Lassale, C., Ferry, M., Jeandel, C., Hercberg, S., ... & Gala, P. (2013). Mediterranean diet and cognitive function: a French study. *The American journal of clinical nutrition*, *97*(2), 369-376. doi:10.3945/ajcn.112.047993
- Kesse-Guyot, E., Andreeva, V. A., Lassale, C., Hercberg, S., & Galan, P. (2014). Clustering of midlife lifestyle behaviors and subsequent cognitive function: a longitudinal study. *American journal of public health*, *104*(11), 170-177. doi:10.2105/AJPH.2014.302121
- Khan, N. A., & Hillman, C. H. (2014). The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review. *Pediatric exercise science*, *26*(2), 138-146. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0125>
- Kleim, J., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *51*(1). [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/018\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/018)).
- Kline, G. M., Porcari, J. P., Hintermeister, R., Freedson, P. S., Ward, A., McCarron, R. F., ... Rippe, J. M. (1987). Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *19*(3), 253-259. PMID: 3600239
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity - exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: a systematic review of experimental studies in human subjects. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, *40*(9), 765-801. <https://doi.org/10.2165/11534530-000000000-00000>

- Kober, S. E., Kurzmann, J., & Neuper, C. (2012). Cortical correlate of spatial presence in 2D and 3D interactive virtual reality: an EEG study. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 83(3), 365–374. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.12.003>
- Koepp, M. J., Gunn, R. N., Lawrence, A. D., Cunningham, V. J., Dagher, A., Jones, T.,... Grasby, P. M. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 393, 266-268. doi: 10.1038/30498.
- Korman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2012). *NEPSY II Bilan neuropsychologique de l'enfant*. ECPA.
- Kortte, K. B., Horner, M. D., & Windham, W. K. (2002). The trail making test, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set? *Applied neuropsychology*, 9(2), 106–109. doi:10.1207/S15324826AN0902_5
- Kozma, A & Stones, M. J. & Hannah, T. (1991). Age, activity, and physical performance: An evaluation of performance models. *Psychology and aging*. 6. 43-9. 10.1037//0882-7974.6.1.43.
- Kraft, E. (2012). Cognitive function, physical activity, and aging: possible biological links and implications for multimodal interventions. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 19(1-2), 248–263. doi: 10.1080/13825585.2011.645010.
- Kramer, A. F., Bherer, L., Colcombe, S. J., Dong, W., & Greenough, W. T. (2004). Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 59, 940-957. doi: 10.1093/gerona/59.9.m940.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R.,... Colcombe, A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400, 418-419. doi: 10.1038/22682.
- Kramer, A. F., Larish, J. F., & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: a comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1(1), 50–76. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.1.1.50>
- Kriska, A. M., Knowler, W. C., LaPorte, R. E., Drash, A. L., Wing, R. R., Blair, S. N., Bennett, P. H., & Kuller, L. H. (1990). Development of questionnaire to examine relationship of physical activity and diabetes in Pima Indians. *Diabetes Care*, 13, 401-411. doi: 10.2337/diacare.13.4.401.
- Kriska, A. M., Sandler, R. B., Cauley, J. A., Laporte, R. E., Hom, D. L., & Pambianco, G. (1988). The assessment of historical physical activity and its relation to adult bone parameters. *American journal of epidemiology*, 127(5), 1053-1063.

- Kueider, A. M., Parisi, J. M., Gross, A. L., & Rebok, G. W. (2012). Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PloS one*, 7(7), e40588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040588>
- Kuhn, S., Gleich, T., Lorenz, R.C., Lindenberger, U. and Gallinat, J. (2014) Playing Super Mario Induces Structural Brain Plasticity: Gray Matter Changes Resulting from Training with a Commercial Video Game. *Molecular Psychiatry*, 19, 265-271. <https://doi.org/10.1038/mp.2013.120>
- Kurz, A., Pohl, C., Ramsenthaler, M., & Sorg, C. (2009). Cognitive rehabilitation in patients with mild cognitive impairment. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 24(2), 163–168. doi: 10.1002/gps.2086.
- Laitinen, M. H., Ngandu, T., Rovio, S., Helkala, E. L., Uusitalo, U., Viitanen, M., ... & Kivipelto, M. (2006). Fat intake at midlife and risk of dementia and Alzheimer's disease: a populationbased study. *Dementia and geriatric cognitive disorders*, 22(1), 99-107. doi:10.1159/000093478
- Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research*, 97(1), 139–144. doi: 10.1007/BF00228824.
- Lamoth, C.J., Caljouw, S.R., Postema, K. (2011). Active video gaming to improve balance in 18 the elderly. *Studies in Health Technology and Informatics*, 167,159-64. PMID: 21685660
- Lampit, A., Hallock, H., & Valenzuela, M. (2014). Computerized cognitive training in cognitively healthy older adults: a systematic review and meta-analysis of effect modifiers. *PLoS medicine*, 11(11), e1001756. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001756>
- Lauenroth, A., Ioannidis, A. E., & Teichmann, B. (2016). Influence of combined physical and cognitive training on cognition: a systematic review. *BMC geriatrics*, 16, 141. <https://doi.org/10.1186/s12877-016-0315-1>
- Laurin, D., Verreault, R., Lindsay, J., MacPherson, K., & Rockwood, K. (2001). Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. *Archives of neurology*, 58(3), 498–504. doi:10.1001/archneur.58.3.498
- Law, L. L. F., Barnett, F., Yau, M. K., & Gray, M. A. (2014). Effects of combined cognitive and exercise interventions on cognition in older adults with and without cognitive impairment: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, 15, 61–75. doi: 10.1016/j.arr.2014.02.008.
- Lee, Y. S. (2005). Gender differences in physical activity and walking among older adults. *Journal of women & aging*, 17(1-2), 55–70. https://doi.org/10.1300/J074v17n01_05

- Legault, C., Jennings, J. M., Katula, J. A., Dagenbach, D., Gaussoin, S. A., Sink, K. M., Rapp, S. R., Rejeski, W. J., Shumaker, S. A., Espeland, M. A., & SHARP-P Study Group (2011). Designing clinical trials for assessing the effects of cognitive training and physical activity interventions on cognitive outcomes: the Seniors Health and Activity Research Program Pilot (SHARP-P) study, a randomized controlled trial. *BMC geriatrics*, *11*, 27. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-11-27>
- Lep l ge, A., Ecosse, E., Verdier, A., Perneger, T.V. (1998). The French SF-36 Health Survey: 20 translation, cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation. *Journal of Clinical Epidemiology*, *51*, 1013-23. doi: 10.1016/s0895-4356(98)00093-6.
- Li, K. Z., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, *12*(3), 230-237. doi: 10.1111/1467-9280.00341.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychological Science*, *15*(3), 155-163. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.01503003.x
- Li, K. Z., Roudaia, E., Lussier, M., Bherer, L., Leroux, A., & McKinley, P. A. (2010). Benefits of cognitive dual-task training on balance performance in healthy older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, *65*(12), 1344-1352. <https://doi.org/10.1093/gerona/glq151>
- Li, H., Li, J., Li, N., Li, B., Wang, P., & Zhou, T. (2011). Cognitive intervention for persons with mild cognitive impairment: A meta-analysis. *Ageing research reviews*, *10*(2), 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2010.11.003>
- Li, C., Chen, S., Meng How, Y., & Zhang, A.L. (2013). Benefits of physical exercise intervention on fitness of individuals with Down syndrome: a systematic review of randomized-controlled trials. *International Journal of Rehabilitation Research*, *36*(3), 187-95. doi: 10.1097/MRR.0b013e3283634e9c.
- Lindenberger, U., Nagel, I. E., Chicherio, C., Li, S. C., Heekeren, H. R., & Bäckman, L. (2008). Age-related decline in brain resources modulates genetic effects on cognitive functioning. *Frontiers in neuroscience*, *2*(2), 234-244. <https://doi.org/10.3389/neuro.01.039.2008>
- Lista, I., & Sorrentino, G. (2010). Biological mechanisms of physical activity in preventing cognitive decline. *Cellular and molecular neurobiology*, *30*(4), 493-503. <https://doi.org/10.1007/s10571-009-9488-x>

- Lopez-Fontana, I., Castanier, C., Le Scanff, C., & Perrot, A. (2018). Protective Role of Recent and Past Long-Term Physical Activity on Age-Related Cognitive Decline: The Moderating Effect of Sex. *Journal of aging and physical activity*, 26(3), 353–362. <https://doi.org/10.1123/japa.2016-0362>
- Lopez-Fontana, I., Perrot, A., Krueger, K., Louis Bherer, Le Scanff, C. & Castanier, C., (2020). General Lifestyle Questionnaire : Psychometric properties of a global lifestyle assessment. *Psychologie Française*, 65 (4), 311-323, Doi : 10.1016/j.psfr.2019.06.004
- Lotan, M. (2007). Quality Physical Intervention Activity for Persons with Down Syndrome. *The Scientific World Journal*, 7, 7-19. doi: 10.1100/tsw.2007.20.
- Lott, I.T., & Head, E. (2001). Down syndrome and Alzheimer's disease: a link between development and aging. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 7(3), 172-8. doi: 10.1002/mrdd.1025.
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological bulletin*, 136(4), 659–676. <https://doi.org/10.1037/a0020080>
- Lövden, M., Schäfer, S., Noack, H., Bodammer, N. C., Kühn, S., Heinze, H.-J., ... Lindenberger, U. (2012). Spatial navigation training protects the hippocampus against age-related changes during early and late adulthood. *Neurobiology of Aging*, 33(3). doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2011.02.013.
- Lu, B., Nagappan, G., & Lu, Y. (2014). BDNF and synaptic plasticity, cognitive function, and dysfunction. *Handbook of experimental pharmacology*, 220, 223–250. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45106-5_9
- Lupien, S. J., McEwen, B. S., Gunnar, M. R., & Heim, C. (2009). Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 434- 445. doi:10.1038/nrn2639
- Lussier, M., Brouillard, P., & Bherer, L. (2017). Limited Benefits of Heterogeneous Dual-Task Training on Transfer Effects in Older Adults. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 72(5), 801–812. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbv105>
- Lyketsos CG, Lopez O, Jones B, Fitzpatrick AL, Breitner J, & DeKosky S. (2002). Prevalence of neuropsychiatric symptoms in dementia and mild cognitive impairment: Results from the

cardiovascular health study. *Journal of the American Medical Association*, 288(12), 1475–1483. doi: 10.1001/jama.288.12.1475.

Lyons, E., Tate, D., Ward, D., Bowling, J., Ribisl, K., & Kalyararaman, S. (2011). Energy expenditure and enjoyment during video game play: differences by game type. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(10), 1987–93. doi: 10.1249/MSS.0b013e318216ebf3.

Maass, A., Düzel, S., Brigadski, T., Goerke, M., Becke, A., Sobieray, U., Neumann, K., Lövdén, M., Lindenberger, U., Bäckman, L., Braun-Dullaeus, R., Ahrens, D., Heinze, H. J., Müller, N. G., Lessmann, V., Sendtner, M., & Düzel, E. (2016). Relationships of peripheral IGF-1, VEGF and BDNF levels to exercise-related changes in memory, hippocampal perfusion and volumes in older adults. *NeuroImage*, 131, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.084>

MacDonald, R., Kreutz, G., & Mitchell, L. (2012). *Music, health, and wellbeing*. Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:oso/9780199586974.001.0001

Maguire, E. A., Burgess, N., Donnett, J. G., Frackowiak, R. S., Frith, C. D., & O'Keefe, J. (1998). Knowing where and getting there: a human navigation network. *Science (New York, N.Y.)*, 280(5365), 921–924. <https://doi.org/10.1126/science.280.5365.921>

Maillot, P., Becquard, C., Perrot, A., (2018). Motivation des personnes âgées à pratiquer une activité physique. *Gérontologie et Société*, 40(156), 147-152. doi.org/10.3917/ges1.156.0127.

Maillot, P., Perrot, A., & Hartley, A. (2012a). Effet de la pratique des jeux vidéo sur le vieillissement cognitif. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, 10(1):83-94. doi:10.1684/pnv.2012.0317

Maillot, P., Perrot, A., & Hartley, A. (2012). Effects of interactive physical-activity video-game training on physical and cognitive function in older adults. *Psychology and aging*, 27(3), 589–600. <https://doi.org/10.1037/a0026268>

Maillot, P., Perrot, A., Hartley, A., Do, MC. (2014). The Braking Force in Walking: Age-Related Differences and Improvement in Older Adults With Exergame Training. *Journal of Aging and Physical Activity*, 22(4):518-26.

Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., Joyce, N. M., Boniske, T., Atkins, S. M., & 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605194103>

- Marinus, N., Hansen, D., Feys, P., Meesen, R., Timmermans, A., & Spildooren, J. (2019). The Impact of Different Types of Exercise Training on Peripheral Blood Brain-Derived Neurotrophic Factor Concentrations in Older Adults: A Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(10), 1529–1546. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01148-z>
- Marquié, J.-C., & Isingrini, M. (2001). *Aspects cognitifs du vieillissement normal*. In Aubert,, E. & Albaret, J.M. (Eds.), *Vieillesse et psychomotricité*. Marseille : Solal, pp. 77-113
- Marston, K. J., Peiffer, J. J., Rainey-Smith, S. R., Gordon, N., Teo, S. Y., Laws, S. M., Sohrabi, H. R., Martins, R. N., & Brown, B. M. (2019). Resistance training enhances delayed memory in healthy middle-aged and older adults: A randomised controlled trial. *Journal of science and medicine in sport*, 22(11), 1226–1231. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.06.013>
- Martin, M., Clare, L., Altgassen, A. M., Cameron, M. H., & Zehnder, F. (2011). *Cognition-based interventions for healthy older people and people with mild cognitive impairment*. In The Cochrane Collaboration (Ed.), *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Martínez-Lapiscina, E. H., Clavero, P., Toledo, E., Estruch, R., Salas-Salvadó, J., San Julián, B., ... & Martínez-González, M. Á. (2013). Mediterranean diet improves cognition: the PREDIMEDNAVARRA randomised trial. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 84(12), 1318–1325. doi:10.1136/jnnp-2012-304792
- Mayas J, Parmentier FBR, Andrés P, Ballesteros S (2014) Plasticity of Attentional Functions in Older Adults after Non-Action Video Game Training: A Randomized Controlled Trial. *PLoS ONE* 9(3): e92269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092269>
- McCarrey, A. C., An, Y., Kitner-Triolo, M. H., Ferrucci, L., & Resnick, S. M. (2016). Sex differences in cognitive trajectories in clinically normal older adults. *Psychology and aging*, 31(2), 166–175. <https://doi.org/10.1037/pag0000070>
- McGough, E. L., Kelly, V. E., Logsdon, R. G., McCurry, S. M., Cochrane, B. B., Engel, J. M., & Teri, L. (2011). Associations between physical performance and executive function in older adults with mild cognitive impairment: gait speed and the Timed “Up & Go” test. *Physical Therapy*, 91(8), 1198–1207. doi: 10.2522/ptj.20100372.
- Meekes, W., & Stanmore, E. K. (2017). Motivational Determinants of Exergame Participation for Older People in Assisted Living Facilities: Mixed-Methods Study. *Journal of medical Internet research*, 19(7), e238. <https://doi.org/10.2196/jmir.6841>

- Meng, X., Li, G., Jia, Y., Liu, Y., Shang, B., Liu, P., Bao, X., & Chen, L. (2020). Effects of dance intervention on global cognition, executive function and memory of older adults: a meta-analysis and systematic review. *Aging clinical and experimental research*, 32(1), 7–19. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01159-w>
- Metz, D.H. (2000). Mobility of older people and their quality of life. *Transport Policy*, 7, 149–152. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(00\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00004-4)
- Mezière, A., Denis, A., Berchel, N., Moreau, C., & Perrot, A. (2020). Impact psychologique de la Wii-habilitation chez le sujet âgé chuteur hospitalisé : étude pilote. *Soins Gériatrie*, 25 (142), 34-38. Doi : 10.1016/j.sger.2020.01.009
- Middleton, L. E., Barnes, D. E., Lui, L.-Y., & Yaffe, K. (2010). Physical Activity Over the Life Course and Its Association with Cognitive Performance and Impairment in Old Age: Life Course Physical Activity and Cognition. *Journal of the American Geriatrics Society*, 58(7), 1322- 1326. doi:10.1111/j.1532-5415.2010.02903.x
- Mishra, J., Anguera, J. A., & Gazzaley, A. (2016). Video Games for Neuro-Cognitive Optimization. *Neuron*, 90(2), 214–218. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.04.010>
- Miyachi, M., Yamamoto, K., Ohkawara, K., & Tanaka, S. (2010). METs in adults while 9 playing active video games: A metabolic chamber study. *Medicine and science in 10 sports and exercise*, 42, 1149-1153. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181c51c78.
- Moholdt, T., Weie, S., Chorianopoulos, K., Wang, A. I., & Hagen, K. (2017). Exergaming can be an innovative way of enjoyable high-intensity interval training. *BMJ open sport & exercise medicine*, 3(1), e000258. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000258>
- Montana, J. I., Tuena, C., Serino, S., Cipresso, P., & Riva, G. (2019). Neurorehabilitation of Spatial Memory Using Virtual Environments: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 8(10), 1516. <https://doi.org/10.3390/jcm8101516>
- Monteiro-Junior, R. S., Vaghetti, C. A., Nascimento, O. J., Laks, J., & Deslandes, A. C. (2016). Exergames: neuroplastic hypothesis about cognitive improvement and biological effects on physical function of institutionalized older persons. *Neural regeneration research*, 11(2), 201–204. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.177709>
- Montero-Odasso, M., Almeida, Q. J., Burhan, A. M., Camicioli, R., Doyon, J., Fraser, S., Li, K., Liu-Ambrose, T., Middleton, L., Muir-Hunter, S., McIlroy, W., Morais, J. A., Pieruccini-Faria, F., Shoemaker, K., Speechley, M., Vasudev, A., Zou, G. Y., Berryman, N., Lussier, M., Vanderhaeghe, L.,

... Bherer, L. (2018). SYNERGIC TRIAL (SYNchronizing Exercises, Remedies in Gait and Cognition) a multi-Centre randomized controlled double blind trial to improve gait and cognition in mild cognitive impairment. *BMC geriatrics*, 18(1), 93. <https://doi.org/10.1186/s12877-018-0782-7>

Moraska, A., & Fleshner, M. (2001). Voluntary physical activity prevents stress-induced behavioral depression and anti-KLH antibody suppression. *American Journal of PhysiologyRegulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 281(2), 484-489. doi: 10.1152/ajpregu.2001.281.2.R484.

Mortimer, J. A., Ding, D., Borenstein, A. R., DeCarli, C., Guo, Q., Wu, Y., Zhao, Q., & Chu, S. (2012). Changes in brain volume and cognition in a randomized trial of exercise and social interaction in a community-based sample of non-demented Chinese elders. *Journal of Alzheimer's disease*, 30(4), 757-766. <https://doi.org/10.3233/JAD-2012-120079>

Mourey, F., & Manckoundia, P. (2009). Les démences: quels troubles de la marche? Quelles perspectives en rééducation? *Kinésithérapie, La Revue*, 9(85), 80. Doi : KIN-01-02-2009-00-85-86-1779-0123-101019-200813185

MRC CFAS - Neuropathology Group. Medical Research Council Cognitive Function and Aging Study (2001). Pathological correlates of late-onset dementia in a multicentre, community-based population in England and Wales. Neuropathology Group of the Medical Research Council Cognitive Function and Ageing Study (MRC CFAS). *Lancet (London, England)*, 357(9251), 169-175. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(00\)03589-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(00)03589-3)

Mueller, F. F., O'Brien, S., & Thorogood, A. (2007). Jogging over a distance. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2579-2584. <https://doi.org/10.1145/1240866.1241045>

Muir, S. W., Speechley, M., Wells, J., Borrie, M., Gopaul, K., & Montero-Odasso, M. (2012). Gait assessment in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: The effect of dual-task challenges across the cognitive spectrum. *Gait & Posture*, 35(1), 96-100. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.08.014.

Mura, G., Carta, M.G., Sancassiani, F., Machado, S., & Prosperini, L. (2017). Active exergames to improve cognitive functioning in neurological disabilities: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 54(3), 450-462. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04680-9.

- Nagamatsu, L. S., Flicker, L., Kramer, A. F., Voss, M. W., Erickson, K. I., Hsu, C. L., & Liu-Ambrose, T. (2014). Exercise is medicine, for the body and the brain. *British Journal of Sports Medicine*, 48(12), 943-944. doi: 10.1136/bjsports-2013-093224.
- Neeper, S. A., Gómez-Pinilla, F., Choi, J., & Cotman, C. (1995). Exercise and brain neurotrophins. *Nature*, 373(6510), 109. <https://doi.org/10.1038/373109a0>
- Nielsen J. (1993) *Usability Engineering*. Editions Academic Press.
- Niemann, C., Godde, B., & Voelcker-Rehage, C. (2014). Not only cardiovascular, but also coordinative exercise increases hippocampal volume in older adults. *Frontiers in aging neuroscience*, 6, 170. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00170>
- Newson, R. S., & Kemps, E. B. (2006). The influence of physical and cognitive activities on simple and complex cognitive tasks in older adults. *Experimental Aging Research*, 32(3), 341–362. <https://doi.org/10.1080/03610730600699134>
- Nitz, J.C., Kuys, S., Isles, R., Fu, S. (2009). Is the Wii Fit a new-generation tool for 12 improving balance, health and well-being? A pilot study. *Climacteric*, 13, 487-91. doi: 13 10.3109/13697130903395193.
- Northey, J. M., Cherbuin, N., Pumpa, K. L., Smee, D. J., & Rattray, B. (2018). Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: a systematic review with meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 52(3), 154–160. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096587>
- Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Hashizume, H., Akitsuki, Y., Shigemune, Y., Sekiguchi, A., Kotozaki, Y., Tsukiura, T., Yomogida, Y., & Kawashima, R. (2012). Brain training game improves executive functions and processing speed in the elderly: a randomized controlled trial. *PloS one*, 7(1), e29676. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029676>
- Nyberg, J., Åberg, M. A., Schiöler, L., Nilsson, M., Wallin, A., Torén, K., & Kuhn, H. G. (2014). Cardiovascular and cognitive fitness at age 18 and risk of early-onset dementia. *Brain : a journal of neurology*, 137(Pt 5), 1514–1523. <https://doi.org/10.1093/brain/awu041>
- O'Donovan, C., Hirsch, E., Holohan, E., McBride, I., McManus, R., & Hussey, J. (2012). Energy expended playing Xbox Kinect™ and Wii™ games: a preliminary study comparing single and multiplayer modes. *Physiotherapy*, 98(3), 224–229. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2012.05.010>

Ogawa, E. F., You, T., & Leveille, S. G. (2016). Potential Benefits of Exergaming for Cognition and Dual-Task Function in Older Adults: A Systematic Review. *Journal of aging and physical activity*, 24(2), 332–336. <https://doi.org/10.1123/japa.2014-0267>

Olson, A. K., Eadie, B. D., Ernst, C., & Christie, B. R. (2006). Environmental enrichment and voluntary exercise massively increase neurogenesis in the adult hippocampus via dissociable pathways. *Hippocampus*, 16(3), 250–260. <https://doi.org/10.1002/hipo.20157>

OMS, 2010. Recommandations mondiales en matière d'activité physique pour la santé. Organisation mondiale de la santé, 2010.

Ordnung, M., Hoff, M., Kaminski, E., Villringer, A., & Ragert, P. (2017). No Overt Effects of a 6-Week Exergame Training on Sensorimotor and Cognitive Function in Older Adults. A Preliminary Investigation. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 160. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00160>

Owen, N., Healy, G. N., Matthews, C. E., & Dunstan, D. W. (2010). Too much sitting: the population health science of sedentary behavior. *Exercise and sport sciences reviews*, 38(3), 105–113. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181e373a2>

Pachana, N. A., Thompson, L. W., Marcopulos, B. A., & Yoash-Gantz, R. (2004). California Older Adult Stroop test (COAST) development of a stroop test adapted for geriatric populations. *Clinical gerontologist*, 27(3), 3–22. doi:10.1300/j018v27n03_02

Pallavicini, F., Ferrari, A., & Mantovani, F. (2018). Video Games for Well-Being: A Systematic Review on the Application of Computer Games for Cognitive and Emotional Training in the Adult Population. *Frontiers in psychology*, 9, 2127. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02127>

Panza, F., D'Introno, A., Colacicco, A. M., Capurso, C., Del Parigi, A., Caselli, R. J., ... Solfrizzi, V. (2005). Current epidemiology of mild cognitive impairment and other predementia syndromes. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 13(8), 633–644. doi: 10.1176/appi.ajgp.13.8.633.

Pariel, S.L, Boissières, A., Delamare, D., Belmin, J. (2013). Patient education in geriatrics: Which specificities ? *La Presse médicale*, 42(2), 217–23. doi: 10.1016/j.lpm.2012.12.002.

Park, D. C., Gutches, A. H., Meade, M. L., & Stine-Morrow, E. A. (2007). Improving cognitive function in older adults: nontraditional approaches. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 62 Spec No 1, 45–52. https://doi.org/10.1093/geronb/62.special_issue_1.45

Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual review of psychology*, 60, 173–196. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656>

Paterson, D. H., Jones, G. R., & Rice, C. L. (2007). Ageing and physical activity: evidence to develop exercise recommendations for older adults. *Canadian journal of public health = Revue canadienne de sante publique*, 98 Suppl 2, S69–S108. PMID: 18213941

Pedroli, E., Cipresso, P., Serino, S., Toti, M., Goulen, K., Grigioni, M., Stramba-Badiale, M., Gaggioli, A., Riva, G. (2019) *Beyond Cognitive Rehabilitation: Immersive but Noninvasive Treatment for Elderly*. In: Cipresso P., Serino S., Villani D. (eds) *Pervasive Computing Paradigms for Mental Health*. MindCare 2019. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 288. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25872-6_22

Perrot, A., Gagnon, C., & Bertsch, J. (2009). Physical activity as a moderator of the relationship between aging and inductive reasoning. *Research quarterly for exercise and sport*, 80(2), 393–397. <https://doi.org/10.1080/02701367.2009.10599576>.

Perrot, A., Castanier, C., Maillot, P., & Zitari, H. (2018). French validation of the modified-falls efficacy scale (M-FES Fr). *Archives of gerontology and geriatrics*, 78, 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2018.07.001>

Perrot, A., Ayad, A., Gernigon, M., & Maillot, P. (2019a). Impact of therapeutic patient education and physical activity program on the fall risk of elderly people. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, 103, 3-10. DOI.org/10.1051/sm/2018028

Perrot, A., Maillot, P., & Hartley, A. (2019b). Cognitive Training Game Versus Action Videogame: Effects on Cognitive Functions in Older Adults. *Games for health journal*, 8(1), 35–40. <https://doi.org/10.1089/g4h.2018.0010>

Perrot, A., Maillot, P., Le Foulon, A., & Rebillat, A. S. (2021). Effect of Exergaming on Physical Fitness, Functional Mobility, and Cognitive Functioning in Adults With Down Syndrome. *American journal on intellectual and developmental disabilities*, 126(1), 34–44. <https://doi.org/10.1352/1944-7558-126.1.34>

Perrochon, A., Kemoun, G., Watelain, E., & Berthoz, A. (2013). Walking Stroop carpet: an innovative dual-task concept for detecting cognitive impairment. *Clinical Interventions in Aging*, 8, 317. doi: 10.2147/CIA.S38667.

- Persson, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (2008). Gaining control. Training executive function and far transfer of the ability to resolve interference. *Psychological Science, 19*, 881-888. doi: 10.1111/j.1467-9280.2008.02172.x.
- Pesce C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. *Journal of sport & exercise psychology, 34*(6), 766-786. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.6.766>
- Petersen, R. C., Smith, G.E., Waring, S. C., Ivnik, R.J., Tangalos, E. G., & Kokmen, E. (1999). Mild cognitive impairment: Clinical characterization and outcome. *Archives of Neurology, 56*(3), 303-308. doi: 10.1001/archneur.56.3.303.
- Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. *Journal of Internal Medicine, 256*(3), 183-194. doi: 10.1111/j.1365-2796.2004.01388.x.
- Petersen, R. C., Doody, R., Kurz, A., Mohs, R. C., Morris, J. C., Rabins, P. V., ... & Winblad, B. (2001). Current concepts in mild cognitive impairment. *Archives of Neurology, 58*(12), 1985- 1992. doi: 10.1001/archneur.58.12.1985.
- Pichierri, G., Murer, K., & de Bruin, E. D. (2012). A cognitive-motor intervention using a dance video game to enhance foot placement accuracy and gait under dual task conditions in older adults: a randomized controlled trial. *BMC Geriatrics, 12*(1), 74. doi: 10.1186/1471-2318-12-74.
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society, 39*(2), 142-148. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x.
- Powers, K. L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., Palladino, M. A., & Alfieri, L. (2013). Effects of video-game play on information processing: a meta-analytic investigation. *Psychonomic bulletin & review, 20*(6), 1055-1079. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0418-z>
- Prakash, R. S., Voss, M. W., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2015). Physical activity and cognitive vitality. *Annual review of psychology, 66*, 769-797. doi:10.1146/annurev-psych-010814- 015249
- Praznoczy C., Lambert C. et Pascal C. (2017), *État des lieux de l'activité physique et de la sédentarité en France – Édition 2017*, Clermont-Ferrand, ONAPS.
- Predovan, D., Julien, A., Esmail, A. & Bherer, L. (2019). Effects of Dancing on Cognition in Healthy Older Adults: a Systematic Review. *Journal of Cognitive Enhancement, 3*, 161-167 <https://doi.org/10.1007/s41465-018-0103-2>

- Rabbitt, P. (1997). *Introduction: Methodologies and models in the study of executive function*. In P. Rabbitt (Ed.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 1-38). Hove: Psychology Press.
- Rahe, J., Petrelli, A., Kaesberg, S., Fink, G. R., Kessler, J., & Kalbe, E. (2015). Effects of cognitive training with additional physical activity compared to pure cognitive training in healthy older adults. *Clinical interventions in aging, 10*, 297–310. <https://doi.org/10.2147/CIA.S74071>
- Rahman, S.A. (2010). Efficacy of Virtual Reality-Based Therapy on Balance in Children with Down Syndrome. *World Applied Sciences Journal, 10*(3), 254-261.
- Raichlen, D. A., & Alexander, G. E. (2014). Exercise, APOE genotype, and the evolution of the human lifespan. *Trends in neurosciences, 37*(5), 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2014.03.001>
- Raichlen, D. A., & Alexander, G. E. (2017). Adaptive Capacity: An Evolutionary Neuroscience Model Linking Exercise, Cognition, and Brain Health. *Trends in neurosciences, 40*(7), 408–421. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2017.05.001>
- Rasmussen, P., Brassard, P., Adser, H., Pedersen, M. V., Leick, L., Hart, E., Secher, N. H., Pedersen, B. K., & Pilegaard, H. (2009). Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise. *Experimental physiology, 94*(10), 1062–1069. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.048512>
- Ratey, J. & Manning, R. (2014) *Go wild : free your body and mind from the afflictions of civilization*. Hachette UK.
- Ratey, J & Hagerman, E. (2008). *Spark: The Revolutionary New Science of Exercise and the Brain*. Psychiatric Services, 59.
- Raven, J.C., Courts, J.H. & Raven, J. (1977). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary scales*. London, H.K. Lewis & Co. LTD
- Raz, N. (2000). *Aging of the brain and its impact on cognitive performance: integration of structural and functional findings*. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp. 1-90). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Read, J.L., & Shortell, S.M. (2011) Interactive games to promote behavior change in prevention and treatment. *Journal of American Medical Association, 305*(16), 1704-5. doi: 10.1001/jama.2011.408.

- Rebok, G. W., Carlson, M. C., & Langbaum, J. B. (2007). Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: traditional and novel approaches. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 62 Spec No 1, 53-61. https://doi.org/10.1093/geronb/62.special_issue_1.53
- Reed-Jones, R.J., Dorgo, S., Hitchings, M.K., Bader, J.O. (2012). WiiFit™ Plus balance test 15 scores for the assessment of balance and mobility in older adults. *Gait Posture*, 36, 16 430-3. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.03.027.
- Renaud, M., Bherer, L., & Maquestiaux, F. (2010). A high level of physical fitness is associated with more efficient response preparation in older adults. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 65B(3), 317-322. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbq004>
- Riley, K & Snowden, D & Markesbery, W. (2002). Alzheimer's neurofibrillary pathology and the spectrum of cognitive function: Findings from the Nun Study. *Annals of neurology*. 51. 567-77. 10.1002/ana.10161.
- Rikli, R. E., & Edwards, D. J. (1991). Effects of a 3-year exercise program on motor function and cognitive processing speed in older women. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62, 61-67. doi: 10.1080/02701367.1991.10607519.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (2001). *Senior Fitness Test Manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ringenbach, S.D., Kao, J.C. (2008). Torso movement constraint in stability of bimanual coordination. *Perceptual and Motor Skills*, 107(1), 231-45. doi: 10.2466/pms.107.1.231-245.
- Ringenbach, S.D., Holzapfel, S.D., Mulvey, G.M., Jimenez, A, Benson, A, & Richter, M. (2016). The effects of assisted cycling therapy (ACT) and voluntary cycling on reaction time and measures of executive function in adolescents with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 60 (11), 1073-1085. doi: 10.1111/jir.12275.
- Roberts, G., Spink, K, Pemberton, C. (1999). *Learning experiences in Sport Psychology*, 2em edition, ISBN:0-88011-932-2
- Rodríguez Jimenez, M., Pulina, F., & Lanfranchi, F. (2015). Video games and intellectual disabilities: a literature review. *Life Span and Disability*, 2, 147-165.
- Roe, C. M., Xiong, C., Miller, J. P., & Morris, J. C. (2007). Education and Alzheimer disease without dementia: support for the cognitive reserve hypothesis. *Neurology*, 68(3), 223-228. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000251303.50459.8a>

- Roig, M., Skriver, K., Lundbye-Jensen, J., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2012). A single bout of exercise improves motor memory. *PloS one*, 7(9), e44594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044594>
- Rosenberg, D., Depp, C. A., Vahia, I. V., Reichstadt, J., Palmer, B. W., Kerr, J., Norman, G., & Jeste, D. V. (2010). Exergames for subsyndromal depression in older adults: a pilot study of a novel intervention. *The American journal of geriatric psychiatry : official journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*, 18(3), 221–226. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e3181c534b5>
- Roubenoff, R. (2000). Sarcopenia and its implications for the elderly. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54, 40–7. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601024.
- Rouillard, M., Audiffren, M., Albinet, C., Ali Bahri, M., Garraux, G., & Collette, F. (2016). Contribution of four lifelong factors of cognitive reserve on late cognition in normal aging and Parkinson's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 39(2), 142 -162. doi:10.1080/13803395.2016.1207755
- Rovio, S., Kåreholt, I., Helkala, E. L., Viitanen, M., Winblad, B., Tuomilehto, J., ... & Kivipelto, M. (2005). Leisure-time physical activity at midlife and the risk of dementia and Alzheimer's disease. *The Lancet Neurology*, 4(11), 705-711. doi:10.1016/S1474-4422(05)70198-8
- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful aging. *The Gerontologist*, 37(4), 433–440. <https://doi.org/10.1093/geront/37.4.433>.
- Runge, M., Rittweger, J., Russo, C.R., Schiessl, H., & Felsenberg, D. (2004). Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 24, 335-40. doi: 10.1111/j.1475-097X.2004.00567.x.
- Ruscheweyh, R., Willemer, C., Krüger, K., Duning, T., Warnecke, T., Sommer, J., Völker, K., Ho, H. V., Mooren, F., Knecht, S., & Flöel, A. (2011). Physical activity and memory functions: an interventional study. *Neurobiology of aging*, 32(7), 1304–1319. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.08.001>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *The American psychologist*, 55(1), 68–78. <https://doi.org/10.1037//0003-066x.55.1.68>

- Sabia, S., Elbaz, A., Dugravot, A., Head, J., Shipley, M., Hagger-Johnson, G., ... & Singh-Manoux, A. (2012). Impact of smoking on cognitive decline in early old age: the Whitehall II cohort study. *Archives of general psychiatry*, 69(6), 627-635. doi:10.1001/archgenpsychiatry.2011.2016
- Saczynski, J. S., Pfeifer, L. A., Masaki, K., Korf, E. S., Laurin, D., White, L., & Launer, L. J. (2006). The effect of social engagement on incident dementia the Honolulu-Asia aging study. *American Journal of Epidemiology*, 163(5), 433-440. doi:10.1093/aje/kwj061
- Sala, G., Tatlidil, K. S., & Gobet, F. (2021). Still no evidence that exergames improve cognitive ability: A commentary on Stanmore et al. (2017). *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 123, 352-353. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.11.015>
- Salem, L.C., Jørgensen, K. (2014). Dementia in people with Down syndrome. *Ugeskrift for Laeger* 176(26), 1228-1232. PMID: 25294572
- Salthouse, T. A. (1992). What do adult age differences in the Digit Symbol Substitution Test reflect? *Journal of Gerontology*, 47(3), 121-128. doi: 10.1093/geronj/47.3.p121.
- Salthouse, T. A. (1993). Influence of working memory on adult age differences in matrix reasoning. *British Journal of Psychology*, 84(2), 171-199. doi: 10.1111/j.2044-8295.1993.tb02472.x.
- Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of aging*, 30(4), 507-514. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(4), 566-594. doi:10.1037/0096-3445.132.4.566
- Santini, Z. I., Koyanagi, A., Tyrovolas, S., Mason, C., & Haro, J. M. (2015). The association between social relationships and depression: a systematic review. *Journal of affective disorders*, 175, 53-65. doi:10.1016/j.jad.2014.12.049
- Schaefer, S., & Schumacher, V. (2011). The interplay between cognitive and motor functioning in healthy older adults: findings from dual-task studies and suggestions for intervention. *Gerontology*, 57(3), 239-246. <https://doi.org/10.1159/000322197>
- Schäfer, S., Huxhold, O., & Lindenberger, U. (2006). Healthy mind in healthy body? A review of sensorimotor-cognitive interdependencies in old age. *European Review of Aging and Physical Activity*, 3, 45-54. <https://doi.org/10.1007/s11556-006-0007-5>

Schaie, K. W. (1983). *Longitudinal studies of adult psychological development* (pp. 64-135). New York: Guilford press.

Schaie, K. W., & Willis, S. L. (1986). Can decline in adult intellectual functioning be reversed? *Developmental Psychology*, 22(2), 223–232. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.22.2.223>.

Van Schaik, P., Blake, J., Pernet, F., Spears, I., & Fencott, C. (2008). Virtual augmented exercise gaming for older adults. *Cyberpsychology & behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, 11(1), 103–106. <https://doi.org/10.1089/cpb.2007.9925>

Schättin, A., Arner, R., Gennaro, F., & de Bruin, E. D. (2016). Adaptations of Prefrontal Brain Activity, Executive Functions, and Gait in Healthy Elderly Following Exergame and Balance Training: A Randomized-Controlled Study. *Frontiers in aging neuroscience*, 8, 278. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00278>

Schellenberg, E. G. (2005). Music and cognitive abilities. *Current Directions in Psychological Science*, 14(6), 317–320. doi:10.1111/j.0963-7214.2005.00389.x

Scherder, E. J. A., Van Paasschen, J., Deijen, J.-B., Van Der Knokke, S., Orlebeke, J. F. K., Burgers, I., ... Sergeant, J. A. (2005). Physical activity and executive functions in the elderly with mild cognitive impairment. *Aging & Mental Health*, 9(3), 272–280. doi: 10.1080/13607860500089930.

Schmidt, R. A. (1988). *Apprentissage moteur et performance*. Paris : PUF.

Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New conceptualizations of practice: Common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *Psychological Science*, 3, 207-217. doi : 10.1111/j.1467-9280.1992.tb00029.x

Schneider, N., & Yvon, C. (2013). A review of multidomain interventions to support healthy cognitive ageing. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 17(3), 252–257. doi: 10.1007/s12603-012-0402-8.

Schoene, D., Lord, S. R., Delbaere, K., Severino, C., Davies, T. A., & Smith, S. T. (2013). A randomized controlled pilot study of home-based step training in older people using videogame technology. *PloS one*, 8(3), e57734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057734>

Schutzer, K. A., & Graves, B. S. (2004). Barriers and motivations to exercise in older adults. *Preventive medicine*, 39, 1056-1061. doi: 10.1016/j.ypmed.2004.04.003.

Scott, J., & Marshall, G. (2009). *A dictionary of sociology*. Oxford University Press, USA. doi:10.1093/acref/9780199533008.001.0001

Segev-Jacobovski, O., Herman, T., Yogev-Seligmann, G., Mirelman, A., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2011). The interplay between gait, falls and cognition: can cognitive therapy reduce fall risk?. *Expert review of neurotherapeutics*, 11(7), 1057–1075. <https://doi.org/10.1586/ern.11.69>

Sell, K., Lillie, T., & Taylor, J. (2008). Energy expenditure during physically interactive video game playing in male college students with different playing experience. *Journal of American college health*, 56(5), 505–511. <https://doi.org/10.3200/JACH.56.5.505-512>

Shatil E. (2013). Does combined cognitive training and physical activity training enhance cognitive abilities more than either alone? A four-condition randomized controlled trial among healthy older adults. *Frontiers in aging neuroscience*, 5, 8. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00008>

Shay, K. A., & Roth, D. L. (1992). Association between aerobic fitness and visuospatial performance in healthy older adults. *Psychology and Aging*, 7, 15-24. doi: 10.1037//0882-7974.7.1.15.

Sheridan, T. (1992). Musings on Telepresence and Virtual Presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1, 120-126. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.120>

Sherrington, C., Whitney, J.C., Lord, S.R., Herbert, R.D., Cumming, R.G., Close, J.C. (2008). Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis. *Journal of American Geriatric Society*, 56, 2234–43.

Shields, N., Taylor, N., & Dodd, K. (2008). Effects of a community-based progressive resistance training program on muscle performance and physical function in adults with Down syndrome: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medical Rehabilitation*, 89, 1215-1220. doi.org/10.1016/j.apmr.2007.11.056.

Sikkes, S. A., & Rotrou, J. d. (2014). A qualitative review of instrumental activities of daily living in dementia: what's cooking?. *Neurodegenerative disease management*, 4(5), 393–400. <https://doi.org/10.2217/nmt.14.24>

Silva, V.E., Campos, C.A., Sá, A., Cavadas, M., Pinto, J.C., Simoes, P., Machado, S., Murillo-Rodríguez, E., & Barbosa-Rocha, N. (2017). Wii-based exercise program to improve physical fitness, motor proficiency and functional mobility in adults with Down syndrome. *Journal of intellectual disability research*, 61 (8), 755-765. doi: 10.1111/jir.12384.

Sinclair, J., Hingston, P., & Masek, M. (2007). Considerations for the design of exergames. Paper presented at the Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia, Perth, Australia.

Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments.. *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, 6, 603-616. doi :10.1162/pres.1997.6.6.603

Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J., & Berton, E. (2013). Age-related dedifferentiation of cognitive and motor slowing: insight from the comparison of Hick-Hyman and Fitts' laws. *Frontiers in aging neuroscience*, 5, 62. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00062>

Slingerland, A. S., van Lenthe, F. J., Jukema, J. W., Kamphuis, C. B., Looman, C., Giskes, K., Huisman, M., Narayan, K. M., Mackenbach, J. P., & Brug, J. (2007). Aging, retirement, and changes in physical activity: prospective cohort findings from the GLOBE study. *American journal of epidemiology*, 165(12), 1356–1363. <https://doi.org/10.1093/aje/kwm053>.

Smiley-Oyen, A. L., Lowry, K. A., Francois, S. J., Kohut, M. L., & Ekkekakis, P. (2008). Exercise, Fitness, and Neurocognitive Function in Older Adults: The « Selective Improvement » and Bibliographie 269 « Cardiovascular Fitness » Hypotheses. *Annals of Behavioral Medicine*, 36(3), 280-291. doi:10.1007/s12160-008-9064-5

Smith, G. E., Housen, P., Yaffe, K., Ruff, R., Kennison, R. F., Mahncke, H. W., & Zelinski, E. M. (2009). A cognitive training program based on principles of brain plasticity: results from the Improvement in Memory with Plasticity-based Adaptive Cognitive Training (IMPACT) study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 57(4), 594–603. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.02167.x>.

Smits-Engelsman, B., Vinçon, S., Blank, R., Quadrado, V. H., Polatajko, H., & Wilson, P. H. (2018). Evaluating the evidence for motor-based interventions in developmental coordination disorder: A systematic review and meta-analysis. *Research in developmental disabilities*, 74, 72–102. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.01.002>

Södergren, M. (2013). Lifestyle predictors of healthy ageing in men. *Maturitas*, 75(2), 113-117. doi:10.1016/j.maturitas.2013.02.011

Soltani, P., Figueiredo, P., & Vilas-Boas, J. P. (2020). Does exergaming drive future physical activity and sport intentions? *Journal of health psychology*, 1359105320909866. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/1359105320909866>

- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., & Toga, A. W. (2003). Mapping cortical change across the human life span. *Nature neuroscience*, 6(3), 309–315. <https://doi.org/10.1038/nn1008>
- Spanò, M., Mercuri, E., Rando, T., Panto, T., Gagliano, A., Henderson, S., & Guzzetta, F. (1999). Motor and perceptual–motor competence in children with Down syndrome: variation in performance with age. *European Journal of Pediatric Neurology*, 3(1), 7–14. Doi: 10.1053/ejpn.1999.0173.
- Spiriduso, W. W., & Clifford, P. (1978). Replication of age and physical activity effects on reaction and movement time. *Journal of Gerontology*, 33(1), 26–30. doi: 10.1093/geronj/33.1.26.
- Spiriduso, W & Macrae, H & Macrae, P & Prewitt, J & Osborne, L. (1988). Exercise Effects on Aged Motor Function. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 515. 363–75. 10.1111/j.1749-6632.1988.tb33010.x.
- Staiano, A. E., & Calvert, S. L. (2011). Exergames for Physical Education Courses: Physical, Social, and Cognitive Benefits. *Child development perspectives*, 5(2), 93–98. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00162.x>
- Stanmore, E., Stubbs, B., Vancampfort, D., de Bruin, E.D., & Firth, J. (2017). The effect of active video games on cognitive functioning in clinical and non-clinical populations: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 78, 34–43. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.04.011.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015–2028. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004
- Stojan, R., & Voelcker-Rehage, C. (2019). A Systematic Review on the Cognitive Benefits and Neurophysiological Correlates of Exergaming in Healthy Older Adults. *Journal of clinical medicine*, 8(5), 734. <https://doi.org/10.3390/jcm8050734>
- Stones, M. J., & Kozma, A. (1988). *Physical activity, age and cognitive/motor performance*. In L. Howe, & C. J. Brainerd (Eds.), *Cognitive Development in Adulthood* (pp. 271–321). New York: Springer-Verlag.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Studenski, S., Perera, S., Patel, K., Rosano, C., Faulkner, K., Inzitari, M., Brach, J., Chandler, J., Cawthon, P., Connor, E. B., Nevitt, M., Visser, M., Kritchevsky, S., Badinelli, S., Harris, T., Newman,

- A. B., Cauley, J., Ferrucci, L., & Guralnik, J. (2011). Gait speed and survival in older adults. *JAMA*, *305*(1), 50–58. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.1923>
- Stuss, D. T., Robertson, I., Craik, F. I. M., Levine, B., Alexander, M. P., Black, S.,... Winocur, G. (2007). Cognitive rehabilitation in the elderly: A randomized trial to evaluate a new protocol. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *13*, 120-131. doi: 10.1017/S1355617707070154
- Subramanian, S., Dahl, Y., Skjæret Maroni, N., Vereijken, B., & Svanæs, D. (2020). Assessing Motivational Differences Between Young and Older Adults When Playing an Exergame. *Games for health journal*, *9*(1), 24–30. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0082>
- Sumic, A., Michael, Y. L., Carlson, N. E., Howieson, D. B., & Kaye, J. A. (2007). Physical activity and the risk of dementia in oldest old. *Journal of aging and health*, *19*(2), 242–259. doi:10.1177/0898264307299299
- Suzuki, T., Shimada, H., Makizako, H., Doi, T., Yoshida, D., Tsutsumimoto, K., ... Park, H. (2012). Effects of multicomponent exercise on cognitive function in older adults with amnesic mild cognitive impairment: a randomized controlled trial. *BMC Neurology*, *12*(1), 128. doi: 10.1186/1471-2377-12-128.
- Tabbarah, M., Crimmins, E. M., & Seeman, T. E. (2002). The relationship between cognitive and physical performance: MacArthur studies of successful Aging. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *57*(4), 228–235. doi: 10.1093/gerona/57.4.m228.
- Taddei, F., Bultrini, A., Spinelli, D., & Di Russo, F. (2012). Neural correlates of attentional and executive processing in middle-age fencers. *Medicine and science in sports and exercise*, *44*(6), 1057–1066. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31824529c2>
- Tait, J. L., Duckham, R. L., Milte, C. M., Main, L. C., & Daly, R. M. (2017). Influence of Sequential vs. Simultaneous Dual-Task Exercise Training on Cognitive Function in Older Adults. *Frontiers in aging neuroscience*, *9*, 368. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00368>
- Tan, B., Aziz, A. R., Chua, K., & Teh, K. C. (2002). Aerobic demands of the dance simulation game. *International journal of sports medicine*, *23*(2), 125–129. <https://doi.org/10.1055/s-2002-20132>
- Tangney, C. C., Kwasny, M. J., Li, H., Wilson, R. S., Evans, D. A., & Morris, M. C. (2011). Adherence to a Mediterranean-type dietary pattern and cognitive decline in a community population. *The American journal of clinical nutrition*, *93*(3), 601–607. doi:10.3945/ajcn.110.007369

- Taylor, S. E., Klein, L. C., Lewis, B. P., Gruenewald, T. L., Gurung, R. A., & Updegraff, J. A. (2000). Biobehavioral responses to stress in females: tend-and-befriend, not fight-or-flight. *Psychological Review*, *107*(3), 411. doi:10.1037/0033-295x.107.3.411
- Taylor, L. M., Maddison, R., Pfaeffli, L. A., Rawstorn, J. C., Gant, N., & Kerse, N. M. (2012). Activity and energy expenditure in older people playing active video games. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *93*(12), 2281–2286. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.03.034>
- Taylor-Piliae, R. E., Newell, K. A., Cherin, R., Lee, M. J., King, A. C., & Haskell, W. L. (2010). Effects of Tai Chi and Western exercise on physical and cognitive functioning in healthy community-dwelling older adults. *Journal of aging and physical activity*, *18*(3), 261–279. <https://doi.org/10.1123/japa.18.3.261>
- Teixeira, C. V. L., Gobbi, L. T. B., Corazza, D. I., Stella, F., Costa, J. L. R., & Gobbi, S. (2012). Nonpharmacological interventions on cognitive functions in older people with mild cognitive impairment (MCI). *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *54*(1), 175–180. doi: 10.1016/j.archger.2011.02.014.
- Temprado J. J. (2021). Can Exergames Be Improved to Better Enhance Behavioral Adaptability in Older Adults? An Ecological Dynamics Perspective. *Frontiers in aging neuroscience*, *13*, 670166. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.670166>
- Theill, N., Schumacher, V., Adelsberger, R., Martin, M., & Jäncke, L. (2013). Effects of simultaneously performed cognitive and physical training in older adults. *BMC Neuroscience*, *14*(1), 103. doi: 10.1186/1471-2202-14-103.
- Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Husain, G. (2001). Arousal, mood, and the Mozart effect. *Psychological science*, *12*(3), 248–251. doi:10.1111/1467-9280.00345
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental science*, *12*(1), 106–113. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x>
- Tomaszewski Farias, S., Cahn-Weiner, D. A., Harvey, D. J., Reed, B. R., Mungas, D., Kramer, J. H., & Chui, H. (2009). Longitudinal Changes in Memory and Executive Functioning are Associated with Longitudinal Change in Instrumental Activities of Daily Living in older adults. *The Clinical Neuropsychologist*, *23*, 446–461. Doi :10.1080/13854040802360558.

- Toril, P., Reales, J. M., & Ballesteros, S. (2014). Video game training enhances cognition of older adults: a meta-analytic study. *Psychology and aging, 29*(3), 706–716. <https://doi.org/10.1037/a0037507>
- Torre, M. M., Langeard, A., Hugues, N., Laurin, J., & Temprado, J. J. (2021). Comparison of Three Physical-Cognitive Training Programs in Healthy Older Adults: A Study Protocol for a Monocentric Randomized Trial. *Brain sciences, 11*(1), 66. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010066>
- Unverzagt, F. W., Guey, L. T., Jones, R. N., Marsiske, M., King, J. W., Wadley, V. G., Crowe, M., Rebok, G. W., & Tennstedt, S. L. (2012). ACTIVE cognitive training and rates of incident dementia. *Journal of the International Neuropsychological Society, 18*(4), 669–677. <https://doi.org/10.1017/S1355617711001470>
- Valdois, S., Joannette, Y., Poissant, A., Ska, B., & Dehaut, F. (1990). Heterogeneity in the cognitive profile of normal elderly. *Journal of clinical and experimental neuropsychology, 12*(4), 587–596. <https://doi.org/10.1080/01688639008401003>.
- Valenzuela, M. J., & Sachdev, P. (2006). Brain reserve and dementia: a systematic review. *Psychological medicine, 36*(4), 441–454. <https://doi.org/10.1017/S0033291705006264>
- Van de Rest, O., Berendsen, A. A., Haveman-Nies, A., & de Groot, L. C. (2015). Dietary patterns, cognitive decline, and dementia: a systematic review. *Advances in nutrition: an international review journal, 6*(2), 154–168. doi:10.3945/an.114.007617
- Vaughan, S., Wallis, M., Polit, D., Steele, M., Shum, D., & Morris, N. (2014). The effects of multimodal exercise on cognitive and physical functioning and brain-derived neurotrophic factor in older women: a randomised controlled trial. *Age and ageing, 43*(5), 623–629. <https://doi.org/10.1093/ageing/afu010>
- Vaynman, S., Ying, Z., & Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *The European journal of neuroscience, 20*(10), 2580–2590. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2004.03720.x>
- Vaynman, S., & Gomez-Pinilla, F. (2005). License to run: exercise impacts functional plasticity in the intact and injured central nervous system by using neurotrophins. *Neurorehabilitation and neural repair, 19*(4), 283–295. <https://doi.org/10.1177/1545968305280753>

- Venezia, A. C., Guth, L. M., Sapp, R. M., Spangenburg, E. E., & Roth, S. M. (2016). Sex-dependent and independent effects of long-term voluntary wheel running on Bdnf mRNA and protein expression. *Physiology & Behavior*, *156*, 8-15. doi:10.1016/j.physbeh.2015.12.026
- Verghese, J. (2006). Cognitive and Mobility Profile of Older Social Dancers. *Journal of the American Geriatrics Society*, *54*: 1241-1244. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2006.00808.x>
- 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. *New England Journal of Medicine*, *348*(25), 2508-2516. doi:10.1056/nejmoa022252
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PloS one*, *7*(4), e34731. doi:10.1371/journal.pone.0034731.
- Voelcker-Rehage, C., & Niemann, C. (2013). Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, *37*(9 Pt B), 2268–2295. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.01.028>
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B., & Staudinger, U. M. (2011). Cardiovascular and coordination training differentially improve cognitive performance and neural processing in older adults. *Frontiers in human Neuroscience*, *5*, 26. doi:10.3389/fnhum.2011.00026
- Voss, M. W., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Basak, C., Chaddock, L., Kim, J. S., ... & Wójcicki, T. R. (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Frontiers in aging neuroscience*, *2*, 32. doi:10.3389/fnagi.2010.00032
- Vrinceanu, T., Esmail, A., Berryman, N., Predovan, D., Vu, T., Villalpando, J. M., Pruessner, J. C., & Bherer, L. (2019). Dance your stress away: comparing the effect of dance/movement training to aerobic exercise training on the cortisol awakening response in healthy older adults. *Stress (Amsterdam, Netherlands)*, *22*(6), 687–695. <https://doi.org/10.1080/10253890.2019.1617690>
- Wahl, D., Cogger, V. C., Solon-Biet, S. M., Waern, R. V., Gokarn, R., Pulpitel, T., ... & Le Couteur, D. G. (2016). Nutritional strategies to optimise cognitive function in the aging brain. *Ageing research reviews*, *31*, 80-92. doi:10.1016/j.arr.2016.06.006
- Walsh, J. J., & Tschakovsky, M. E. (2018). Exercise and circulating BDNF: Mechanisms of release and implications for the design of exercise interventions. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, *43*(11), 1095–1104. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0192>

- Wang, X., & Goh, D. H.-L. (2017). Video game acceptance: A meta-analysis of the extended technology acceptance model. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *20*(11), 662–671. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0086>
- Wang, H. X., Karp, A., Herlitz, A., Crowe, M., Kåreholt, I., Winblad, B., & Fratiglioni, L. (2009). Personality and lifestyle in relation to dementia incidence. *Neurology*, *72*(3), 253–259. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000339485.39246.87>
- Wang, H. X., Xu, W., & Pei, J. J. (2012). Leisure activities, cognition and dementia. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, *1822*(3), 482-491. doi:10.1016/j.bbadis.2011.09.002
- Wang, C. H., Tsai, C. L., Tu, K. C., Muggleton, N. G., Juan, C. H., & Liang, W. K. (2015). Modulation of brain oscillations during fundamental visuo-spatial processing: a comparison between female collegiate badminton players and sedentary controls. *Psychology of Sport and Exercise*, *16*, 121-129. doi : 10.1123/jsep.2015-0221
- Wang, H. X., Jin, Y., Hendrie, H. C., Liang, C., Yang, L., Cheng, Y., Unverzagt, F. W., Ma, F., Hall, K. S., Murrell, J. R., Li, P., Bian, J., Pei, J. J., & Gao, S. (2013). Late life leisure activities and risk of cognitive decline. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, *68*(2), 205–213. <https://doi.org/10.1093/gerona/gls153>
- Wang, C., Yu, J.-T., Wang, H.-F., Tan, C.-C., Meng, X.-F., & Tan, L. (2014). Non-pharmacological interventions for patients with mild cognitive impairment: a meta-analysis of randomized controlled trials of cognition-based and exercise interventions. *Journal of Alzheimer's Disease*, *42*(2), 663–678. doi: 10.3233/JAD-140660.
- Wang, S & Huiru, Y & Wang, X & Jia, Y & Wang, C & Wang, L & Chen, L. (2019). Efficacy of different types of exercises on global cognition in adults with mild cognitive impairment: a network meta-analysis. *Aging Clinical and Experimental Research*. *31*. 10.1007/s40520-019-01142-5.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale – 3rd Edition (WAIS-3R)*. San Antonio, TX: Harcourt Assessment.
- West R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological bulletin*, *120*(2), 272–292. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.2.272>
- Wilson, R. S., Segawa, E., Boyle, P. A., & Bennett, D. A. (2012). Influence of late-life cognitive activity on cognitive health. *Neurology*, *78*(15), 1123-1129. doi:10.1212/wnl.0b013e31824f8c03

- Wilson, R. S., Barnes, L. L., & Bennett, D. A. (2003). Assessment of Lifetime Participation in Cognitively Stimulating Activities. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology (Neuropsychology, Development and Cognition: Section A)*, 25(5), 634-642. doi:10.1076/jcen.25.5.634.14572
- Winblad, B., Palmer, K., Kivipelto, M., Jelic, V., Fratiglioni, L., Wahlund, L.-O., ... others. (2004). Mild cognitive impairment—beyond controversies, towards a consensus: report of the International Working Group on Mild Cognitive Impairment. *Journal of Internal Medicine*, 256(3), 240-246. doi: 10.1111/j.1365-2796.2004.01380.x.
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16(1), 1-14. doi: 10.1016/s0966-6362(01)00156-4.
- Wuang, Y.P., Chiang, C.S., Su C.Y., & Wang C.C. (2011). Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in children with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 32(1), 312-321. doi: 10.1016/j.ridd.2010.10.002.
- Xiong, G. L., & Doraiswamy, P. M. (2009). Does meditation enhance cognition and brain plasticity? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1172(1), 63-69. doi:10.1196/annals.1393.002
- Yaffe, K., Hoang, T. D., Byers, A. L., Barnes, D. E., & Friedl, K. E. (2014). Lifestyle and health-related risk factors and risk of cognitive aging among older veterans. *Alzheimer's & Dementia*, 10(3), 111-121. doi:10.1016/j.jalz.2014.04.010
- Yaffe, K., Barnes, D., Nevitt, M., Lui, L. Y., & Covinsky, K. (2001). A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women: women who walk. *Archives of internal medicine*, 161(14), 1703-1708. <https://doi.org/10.1001/archinte.161.14.1703>
- Yardley, L., Beyer, N., Hauer, K., Kempen, G., Piot-Ziegler, C., & Todd, C. (2005). Development and initial validation of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I). *Age and ageing*, 34(6), 614-619. <https://doi.org/10.1093/ageing/afi196>
- Yau, S., Li, A., Sun, X., Fontaine, C.J., Christie, B., & So, K. (2016). Potential Biomarkers for Physical Exercise-Induced Brain Health. In M Wang & FA Witzmann (Eds.). *Role of biomarkers in medicine*, p. 169-191. Rijeka: InTech, 2016. doi : 10.5772/62458

- Yeom, H.A., Fleury, R.N.J., Keller, C. (2008). Risk factors for mobility limitation in 6 community-dwelling older adults: a social ecological perspective. *Geriatric Nursing*, 7 29, 133–140. doi: 10.1016/j.gerinurse.2007.07.002.
- Ylikoski, R., Ylikoski, A., Keskivaara, P., Tilvis, R., Sulkava, R., & Erkinjuntti, T. (1999). Heterogeneity of cognitive profiles in aging: successful aging, normal aging, and individuals at risk for cognitive decline. *European journal of neurology*, 6(6), 645–652. <https://doi.org/10.1046/j.1468-1331.1999.660645.x>.
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders*, 23(3), 329–342. doi: 10.1002/mds.21720.
- Yogev-Seligmann, G., Giladi, N., Brozgol, M., & Hausdorff, J. M. (2012). A training program to improve gait while dual tasking in patients with parkinson's disease: A Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(1), 176–181. doi: 10.1016/j.apmr.2011.06.005.
- Yoon, J., Lee, S., Lim, H., Kim, T., Jeon, J., & Mun, M. (2013). The effects of cognitive activity combined with active extremity exercise on balance, walking activity, memory level and quality of life of an older adult sample with dementia. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(12), 1601–1604. doi: 10.1589/jpts.25.1601.
- You, J. H., Shetty, A., Jones, T., Shields, K., Belay, Y., & Brown, D. (2009). Effects of dual-task cognitive-gait intervention on memory and gait dynamics in older adults with a history of falls: a preliminary investigation. *NeuroRehabilitation*, 24(2), 193–198. doi: 10.3233/NRE-2009-0468.
- Young, J., Angevaren, M., Rusted, J., & Tabet, N. (2015). Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *The Cochrane Library*, 1- 141. doi:10.1002/14651858.CD005381.pub4
- Zaino, C.A., Marchese, V.G., & Westcott, S.L. (2004). Timed up and down stairs test: preliminary reliability and validity of a new measure of functional mobility. *Pediatric Physical Therapy*, 16(2), 90-8. doi: 10.1097/01.PEP.0000127564.08922.6A.
- Zeidan, F., Johnson, S. K., Diamond, B. J., David, Z., & Goolkasian, P. (2010). Mindfulness meditation improves cognition: Evidence of brief mental training. *Consciousness and cognition*, 19(2), 597–605. doi:10.1016/j.concog.2010.03.014
- Zigman, W.B. (2013). Atypical aging in Down syndrome. *Developmental disabilities research reviews*, 18(1), 51-67. doi: 10.1002/ddrr.1128.

Zhu, X., Yin, S., Lang, M., He, R., & Li, J. (2016). The more the better? A meta-analysis on effects of combined cognitive and physical intervention on cognition in healthy older adults. *Ageing research reviews, 31*, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2016.07.003>

Zunzunegui, M.-V., Alvarado, B. E., Del Ser, T., & Otero, A. (2003). Social networks, social integration, and social engagement determine cognitive decline in community-dwelling Spanish older adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 58*(2), 93–100. doi:10.1093/geronb/58.2.s93