



HAL
open science

Les variations stratégiques dans les tâches cognitives et motrices au cours du vieillissement

Celine Poletti

► **To cite this version:**

Celine Poletti. Les variations stratégiques dans les tâches cognitives et motrices au cours du vieillissement. Psychologie. Aix Marseille Université, 2016. Français. NNT: . tel-01460340

HAL Id: tel-01460340

<https://amu.hal.science/tel-01460340>

Submitted on 7 Feb 2017

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.

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE 356 – COGNITION, LANGAGE, ÉDUCATION

UFR PSYCHOLOGIE, SCIENCES DE L'ÉDUCATION

LABORATOIRE DE PSYCHOLOGIE COGNITIVE & CNRS – UMR 7290

THÈSE

Présentée pour obtenir le grade universitaire de Docteur d'Aix-Marseille Université

Discipline : Psychologie

Céline POLETTI

Les variations stratégiques dans les tâches cognitives et motrices au cours du vieillissement

Soutenue publiquement le 14/12/2016 devant le jury

Laurence TACONNAT	Professeure	Université de Tours	Rapporteur
Yannick BLANDIN	Professeur	Université de Poitiers	Rapporteur
Patrick LEMAIRE	Professeur	Aix-Marseille Université	Directeur de thèse
Jean-Jacques TEMPRADO	Professeur	Aix-Marseille Université	Directeur de thèse

Résumé

Des travaux récents ont montré que les relations entre le fonctionnement cognitif et sensori-moteur étaient de plus en plus fortes au cours du vieillissement, suggérant que des mécanismes communs seraient responsables du déclin avec l'âge des performances cognitives et sensori-motrices. Des variations quantitatives telles que la diminution avec l'âge de la vitesse de traitement ont été proposées comme cause commune pour expliquer le ralentissement cognitif et sensori-moteur. Toutefois, nous ignorons toujours comment ces variations quantitatives pourraient influencer les variations qualitatives au cours du vieillissement. L'objectif de cette thèse était de décrire les variations stratégiques liées à l'âge dans le domaine sensori-moteur d'une part, et de déterminer si les variations stratégiques observées dans le domaine cognitif pouvaient être communes aux variations stratégiques dans le domaine sensori-moteur, d'autre part. Pour cela, nous avons conduit cinq études dans lesquelles des participants jeunes et âgés ont effectué une tâche de Fitts. Nos données répliquent les principaux résultats observés dans les domaines cognitifs concernant les différences liées à l'âge dans les différentes variations stratégiques ainsi que les phénomènes associés à ces variations telles que les effets de difficulté séquentielle, suggérant l'implication de ressources communes telles que les fonctions exécutives. Nos données montrent également une amplification de ces variations stratégiques au cours du vieillissement pathologique et suggèrent une amélioration de l'exécution stratégique après un entraînement. Les résultats présentés dans cette thèse permettent une meilleure compréhension des mécanismes cognitifs sous-jacents au comportement sensori-moteur des adultes jeunes et âgés durant la tâche de Fitts.

Mots clés : Vieillissement cognitif et sensori-moteur ; Variations stratégiques ; Tâche de Fitts.

Abstract

Recent studies have demonstrated that the relationship between cognitive and sensori-motor functioning is becoming stronger during aging, suggesting that common mechanisms could be responsible for age-related decline in cognitive and sensori-motor performance. Quantitative variations in aging, such as decreased information processing speed have been proposed as a common cause to explain cognitive and sensori-motor slowing. However, we do not know how these quantitative variations can influence the qualitative changes during aging. The main objective of this thesis was to describe age-related strategic changes in the sensori-motor domain and furthermore to determine whether these strategic changes in the sensori-motor domain share similar strategic variations with cognitive domain. To achieve this objective, a total of five studies were conducted where both young and older adults performed the Fitts' task. Our data replicated previous findings relative to those observed in the cognitive domain. On the one hand, age-related differences in strategy repertoire, strategy distribution and strategy execution were found. On the other hand, phenomenon associated with these variations, such as strategy sequential difficulty effects were also observed, suggesting involvement of common resources (i.e., executive functions). Additionally, we showed an amplification of these strategic variations in pathological aging and an improvement in strategic execution after training. These results provide a better understanding of the underlying cognitive mechanisms in young and older adults' sensori-motor behavior during the Fitts' task.

Keywords: Cognitive and sensori-motor aging; strategic variations; Fitts' task.

Remerciements

*Pour commencer, je souhaite remercier les membres du jury, Pr. **Laurence Taconnat** et Pr. **Yannick Blandin** d'avoir accepté de lire et de m'offrir un regard critique sur ces travaux de thèse.*

Ce travail de thèse n'aurait pu aboutir sans l'aide de nombreuses personnes que j'ai eu la chance de rencontrer au cours de ces cinq dernières années.

*Je tiens à remercier particulièrement mes directeurs de thèse, Pr. **Patrick Lemaire** et Pr. **Jean-Jacques Temprado** de m'avoir accueillie dans leurs équipes respectives à St-Charles et à Luminy et de la confiance qu'ils m'ont accordée. Votre professionnalisme, vos connaissances scientifiques et vos conseils avisés ont été précieux à chaque étape de cette thèse.*

***Patrick**, merci de m'avoir fait découvrir la psychologie il y a maintenant plus de 6 ans (déjà !). Je me souviens encore de la première fois où je t'ai entendu parler des effets du vieillissement sur nos performances cognitives. Ni une, ni deux, je me suis engouffrée dans ton bureau la semaine suivante pour te demander (au culot comme toujours) d'accepter de me laisser faire mon premier stage de M1 sous ta direction. Tu m'avais convaincue. De nouveau, l'année suivante, j'ai réalisé mon stage de M2 avec toi (j'étais devenue « addict » aux stratégies) à la fin duquel tu m'as offert l'opportunité de faire une thèse. Merci de m'avoir donné confiance en moi depuis toutes ces années et de m'avoir permis de repousser mes limites intellectuelles... et quelques fois temporelles.*

***Jean-Jacques**, merci pour toutes les connaissances que vous m'avez transmises sur le contrôle moteur (ce truc de bas niveau 😊) et son évolution au cours du vieillissement. Je tenais vraiment à vous remercier pour votre disponibilité et votre investissement tout au long de cette thèse. Vos qualités pédagogiques ont été d'une aide précieuse. J'espère avoir été digne de la confiance que vous m'avez accordée.*

Merci également aux participants qui ont généreusement accepté de participer à mes expériences. Un merci particulier à mes petits vieux bienveillants.

*Je remercie l'ensemble des membres du LPC et de l'ISM pour leur accueil. Un merci tout particulier à **Thelma Coyle** et **Stéphane Dufau** pour leur aide à la programmation avec ce satané MATLAB. Merci à **Fleur** pour ses formules Excel à rallonge et son aide dans la*

construction des stimuli (je suis toujours aussi nulle...). Merci également à **Colette** et **Fred** pour leur aide dans toutes les démarches administratives.

Je souhaite également remercier l'ensemble des chercheurs avec qui j'ai eu la chance de collaborer. Merci à **Agnès Blaye**, **Céline Scola**, **Christine Bailleux**, **Marianne Jover**, **Marie-Laure Barbier**, **Mireille Bastien** pour leur confiance dans les enseignements. Merci à **Kim**, **Fred**, **Leslie** et **Rita** pour notre fructueuse collaboration. **Kim**, je me souviens encore lorsque je suis arrivée au LPC et que tu m'as prise sous ton aile. C'est grâce à toi finalement que j'ai eu l'opportunité de faire cette thèse. On est « partenaires à vie ». Merci pour tous tes conseils, merci de m'avoir remonté le moral quand c'était difficile et merci d'être là encore aujourd'hui. J'ai hâte de venir « te visiter » en Suisse (enfin !!!). **Rita**, la thèse n'aurait pas eu le même le goût si tu n'avais pas été là. Merci pour ta patience et pour tout le temps que tu as consacré à la relecture de TOUS nos papiers (ouais ouais on en a quand même pleins !). Tu es quelqu'un qui compte beaucoup pour moi et en qui j'ai toute confiance. Même si tu es tout le temps débordée, tu as toujours pris du temps pour m'écouter (me nourrir aussi...) et me conseiller (et surtout me canaliser... ah non çà c'est vraiment pas facile pourtant !). Je te remercie vraiment de tout cœur.

Je tiens également à remercier tous les doctorants, post-doctorants et chercheurs avec qui j'ai pu échanger au cours de ces années, que ce soit au sein des deux labos, au Restaurant Universitaire ou autour d'un verre. Merci à **Antoine**, **Benjamin**, **Claude**, **Delphine**, **Hannah**, **Julie**, **Hugo**, **Lionel**, **Mathieu**, **Noémie**, **Rémi**, **Simon**, **Solveig** de l'ISM. Un merci tout particulier à **Jonathan**. Je crois que j'ai passé plus de temps dans ton bureau que dans le mien... Merci d'être encore là aujourd'hui, je sais que je peux compter sur toi dans n'importe quel moment. Merci pour ton sourire, ta bonne humeur de tous les jours, merci d'être comme tu es, tout simplement. Merci à **Anahid**, **Angélique**, **Cécile**, **Kévin**, **Gérôme**, **JB** (pas de bras, pas de chocolat), **Joanna**, **Laurie**, **Nico**, **Olivia**, **Romain**, **Samira**, **Solène**, **Svetlana** et **Thomas** du LPC ou du LNC. **Ananou**, **Olive** et **Sam** je ne sais pas comment vous remercier pour m'avoir supporté depuis le début, le milieu et surtout la fin de la thèse. Merci de m'avoir changé les idées, de m'avoir remonté le moral, merci pour les rigolades passées et toutes celles qui arrivent... Ah oui oui je compte bien recommencer nos petites soirées canapé, rosé pamplemousse, chips et times-up !

Je remercie plus particulièrement mes collègues de bureau, qui ont su, chacun à leur manière, contribuer au bon déroulement de cette thèse : **Dash** (ta soupe à l'oignon de bon matin

ne me manque pas du tout), **Elly, Hélène, Julien, Marina** (« c'est chaud d'être noire comme ça !! »), **Soazig et Yann** qui sont partis beaucoup trop vite... **Ma Soazig** (Choachig !!), un grand merci tout simplement... Tu es une personne adorable avec un grand cœur. Merci aux petites nouvelles doctorantes qui m'ont apporté du soutien ces quelques dernières semaines **Angélique et Posh**. Merci à **Lotje** pour sa gentillesse, sa bienveillance et son aide pour écrire en anglais. **Posh** a pris le relais maintenant ! Merci à **Mélody** d'avoir été là pour moi tout l'été et de continuer à me motiver encore maintenant. Merci pour toutes ces photos de **Cristiano Ronaldo** (« You can do it !! » elles m'ont beaucoup aidées !!). Tu es tellement gentille, je te souhaite de faire une belle thèse. Merci à toi **Sophie** pour ta bonne humeur et tes délires que je ne comprends pas toujours (merci d'être aussi tarée que moi, voire plus). Enfin (le meilleur pour la fin), merci à mon **Didou**... Quel bonheur d'arriver tous les jours au labo en sachant que tu serais là. Merci pour tous ces moments qu'on a partagés et tous ceux qu'on partagera à l'avenir parce que je compte bien te garder près de moi ! Bien plus qu'un collègue de bureau, tu es devenu un vrai ami ! Pas de filtre avec toi (bon j'avoue que j'ai pas souvent de filtre, l'inhibition ne fonctionne pas beaucoup chez moi), je peux tout te dire, je sais que tu ne me jugeras jamais, bien au contraire... Merci de m'avoir soutenue et motivée jusqu'à la fin, je ne l'oublierai pas !

Enfin (et surtout) un grand merci à tous mes proches, amis et famille pour leur soutien au quotidien. Merci à **Anne-Laure, Aurélia, Anaïs, Célia, Charlène, Élise, Mika, Nadège, Nelly, Tatiana**... Merci à mes amies de longue date **Amélie** (ma petite mémère), **Elsa, Karine et Nadia**. Un grand merci à ma Couz d'amour **Marie** pour son soutien et ses nombreuses relectures de la thèse. Merci à ma **Mémé** et à mon **Pépé**... Heureusement que vous êtes là ! Merci **Papa** et **Carine**, merci mes tontons (**Francis et Pierre**), merci **Sandrine, Antoine et Célia**, merci à mon petit frère **Franck**, à ma sœur **Maëva** et à ma nouvelle petite sœur **Serena**. Merci aussi à mes beaux parents, **Ali et Magali**.

Et enfin, merci à toi ma moitié... mon tout... Merci pour ton soutien sans faille, merci de m'avoir supportée dans les moments difficiles et de me supporter tout court depuis presque 7 ans, merci de croire en moi comme personne et de toujours me tirer vers le haut ! J'ai vraiment de la chance de t'avoir près de moi. Merci de toujours me conseiller, me soutenir, merci de me rendre meilleure chaque jour. Si j'en suis arrivée là aujourd'hui, c'est vraiment grâce à toi... grâce à toi que je suis si heureuse et grâce à toi que je me sens vivante.

A tè a mo **Mammò** cara...

Table des matières

<i>Résumé</i>	i
<i>Abstract</i>	ii
<i>Remerciements</i>	iii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PARTIE THÉORIQUE	7
<u>Chapitre 1 - Vieillessement cognitif et sensori-moteur : Une approche quantitative</u>	9
1. Variations quantitatives au cours du vieillissement cognitif	9
1.1. La mémoire	10
1.1.1. La mémoire de travail	11
1.1.2. La mémoire épisodique	12
1.1.3. La mémoire sémantique	13
1.1.4. La mémoire implicite	14
1.2. L'attention	15
1.2.1. L'attention sélective	15
1.2.2. La flexibilité attentionnelle	16
1.2.3. L'attention soutenue	17
1.2.4. L'attention partagée	17
1.2.5. L'attention préparatoire	18
1.3. La résolution de problèmes	18
2. Variations quantitatives au cours du vieillissement sensori-moteur	20

3.	Vieillessement cognitif et sensori-moteur : une évolution commune.....	24
3.1.	Les études corrélationnelles	25
3.2.	Les études en situation double-tâche.....	28
3.3.	Synthèse et conclusion	30
<u>Chapitre 2 - Vieillessement cognitif et sensori-moteur : Une approche qualitative</u>		33
1.	Variations qualitatives au cours du vieillissement cognitif.....	34
1.1.	Vieillessement et variations stratégiques	35
1.1.1.	Vieillessement et répertoire stratégique	35
1.1.2.	Vieillessement et distribution stratégique	36
1.1.3.	Vieillessement et exécution stratégique	36
1.1.4.	Vieillessement et sélection stratégique	37
1.2.	Rôle des fonctions exécutives dans les variations stratégiques.....	38
1.2.1.	Les études corrélationnelles.....	39
1.2.2.	Les études expérimentales	41
1.2.2.1.	L'effet de changement stratégique inter-item.....	41
1.2.2.2.	L'effet de changement stratégique intra-item.....	42
1.2.2.3.	L'effet de persévérations stratégiques	43
1.2.2.4.	L'effet de difficulté séquentielle stratégique	44
1.2.2.5.	L'effet d'interférence stratégique et ses modulations séquentielles ...	45
2.	Variations qualitatives au cours du vieillissement sensori-moteur	47
<u>Chapitre 3 - Synthèse et Objectifs</u>		51

PARTIE EXPÉRIMENTALE	55
Expérience 1 - Vieillissement et variations stratégiques dans la tâche de Fitts.....	57
Expérience 2 - Variations stratégiques et effets de difficulté séquentielle au cours du vieillissement dans la tâche de Fitts	75
Expérience 3 - Vieillissement et effets de difficulté séquentielle dans les tâches cognitives et motrices	89
Expérience 4 - Évolution des variations stratégiques chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers dans la tâche de Fitts	117
Expérience 5 - Effet de l’entraînement et évolution des variations stratégiques chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs dans la tâche de Fitts.....	151
DISCUSSION GÉNÉRALE	169
1. Résumé des principaux résultats	172
2. Implications générales.....	179
3. Conclusion.....	183
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	185
VALORISATION DE LA THÈSE	203

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

De manière générale, les recherches sur le vieillissement ont pour objectif de comprendre comment évoluent les performances cognitives et/ou sensori-motrices avec l'âge et quels sont les mécanismes responsables de cette évolution. Deux grandes approches, non exclusives, sont généralement utilisées pour étudier la diminution ou le maintien des performances au cours du vieillissement. Selon l'approche quantitative, le déclin des performances avec l'âge résulterait d'une diminution des ressources de traitement telles que la vitesse de traitement de l'information (Salthouse, 1996), les ressources attentionnelles (Anderson & Craik, 2000; Craik, 1986) ou les fonctions exécutives (West, 1996), comme l'inhibition (Hasher & Zacks, 1988). Selon l'approche qualitative, l'évolution avec l'âge des performances cognitives résulterait de, ou à tout le moins serait associée à des, variations stratégiques. Ainsi, les participants jeunes et âgés n'utilisent pas toujours les mêmes stratégies (ou le même nombre de stratégies) pour accomplir une tâche, n'exécutent pas et ne sélectionnent pas les stratégies disponibles aussi efficacement.

Quelle que soit la perspective adoptée, quantitative ou qualitative, de nombreux travaux montrent que le vieillissement est le plus souvent associé à un déclin global des fonctions cognitives (Lemaire & Bherer, 2005) et sensori-motrices (Shumway-Cook & Woollacott, 2007). Par ailleurs, le vieillissement cognitif et sensori-moteur sont généralement étudiés séparément. Pourtant, au cours des vingt dernières années, de nombreuses études ont montré que les interactions entre les processus cognitifs et sensori-moteurs étaient de plus en plus fortes au cours du vieillissement (voir Schäfer, Huxhold, & Lindenberger, 2006, pour une revue), suggérant que des mécanismes communs seraient responsables du déclin avec l'âge des performances

cognitives et sensori-motrices (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). Il existe des travaux qui confirment cette hypothèse. Par exemple, les travaux de Sleimen-Malkoun, Temprado, & Berton (2013), qui ont adopté une approche quantitative, montrent dans quelles mesures la diminution avec l'âge de la vitesse de traitement de l'information peut être considérée comme une cause commune au ralentissement des processus cognitifs et sensori-moteurs.

Au cours de cette thèse, nous avons choisi d'adopter une approche qualitative pour caractériser les interactions entre les processus cognitifs et sensori-moteurs et leur évolution au cours du vieillissement. La question était de savoir si les modifications qualitatives au cours du vieillissement pouvaient avoir une ou des causes communes.

Depuis plus de vingt ans, les recherches menées dans le domaine de la cognition ont permis de montrer comment l'approche qualitative permet d'expliquer à la fois la diminution mais également la stabilité des performances cognitives au cours du vieillissement. Selon cette approche, les effets de l'âge observés dans les tâches cognitives seraient caractérisés, au moins en partie, par l'utilisation de stratégies différentes au cours du vieillissement. Le cadre conceptuel de Lemaire & Siegler (1995) qui distingue quatre dimensions, permet de comprendre comment les adultes jeunes et âgés diffèrent (a) dans le nombre de stratégies utilisées, (b) dans la fréquence d'utilisation, (c) dans l'exécution, et (d) dans la sélection des stratégies.

Dans le domaine de la sensori-motricité, certaines études montrent que différentes stratégies peuvent être utilisées pour réaliser des tâches sensori-motrices (e.g., Bennett, Elliott, & Rodacki, 2012; Dounskaia, Wisleder, & Johnson, 2005; Elliott, Hansen, Mendoza, & Tremblay, 2004; Fradet, Lee, & Dounskaia, 2008; Ketcham, Seidler, Van Gemmert, & Stelmach, 2002; Lyons, Hansen, Hurding, & Elliott, 2006). Par exemple, pour réaliser un mouvement de pointage vers une cible, les individus peuvent choisir de surestimer la distance de la cible (ou bien de la sous-estimer) et ensuite réaliser différents mouvements de correction permettant de l'atteindre.

Cependant, dans ce type de tâche, un cadre conceptuel permettant d'étudier ces variations stratégiques au cours du vieillissement n'a jamais été proposé. Nous avons donc fait l'hypothèse selon laquelle les variations stratégiques pourraient se généraliser au domaine sensori-moteur. En effet, d'un point de vue quantitatif, l'évolution commune des performances cognitives et sensori-motrices au cours du vieillissement semble appuyer cette hypothèse.

Par ailleurs, d'un point de vue qualitatif, des études récentes réalisées dans le domaine cognitif, ont établi que des mécanismes généraux pourraient être responsables de l'évolution des performances stratégiques au cours du vieillissement. Selon ces travaux, parmi ces mécanismes généraux, les fonctions exécutives (mémoire de travail, flexibilité attentionnelle et inhibition) occuperaient une place centrale. Compte tenu de l'altération des fonctions exécutives avec l'âge (Collette & Salmon, 2014; McCabe, Roediger, McDaniel, Balota, & Hambrick, 2010; West, 1996), ces fonctions médiatiseraient également l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement (voir Hinault & Lemaire, 2016; Taconnat & Lemaire, 2013, pour des revues). De plus, d'autres études réalisées dans le domaine de la sensori-motricité, suggèrent que les fonctions exécutives seraient fortement impliquées dans les tâches sensori-motrices complexes telles que la marche (e.g., Verghese, Mahoney, Ambrose, Wang, & Holtzer, 2010) ou la posture (e.g., Woollacott & Shumway-Cook, 2002), et particulièrement dans les tâches de pointage (Rey-Robert, Temprado, Lemaire, & Berton, 2012; Temprado et al., 2013).

Dans cette thèse, nous avons donc voulu tester l'hypothèse d'une évolution commune des variations stratégiques dans les tâches cognitives et motrices. Pour cela, nous souhaitons d'une part, **décrire les variations stratégiques liées à l'âge dans le domaine sensori-moteur** et d'autre part, **déterminer si les variations stratégiques observées dans le domaine cognitif pouvaient être communes aux variations stratégiques dans le domaine sensori-moteur.**

Dans les deux premiers chapitres, nous présentons les travaux qui se sont intéressés à l'évolution des performances au cours du vieillissement cognitif et sensori-moteur d'un point de vue quantitatif dans le **Chapitre 1** et d'un point de vue qualitatif dans le **Chapitre 2**. Dans le **Chapitre 3**, nous présentons notre problématique de recherche. Nous rapportons ensuite les résultats des cinq études expérimentales que nous avons menées pour tester l'hypothèse d'une évolution commune des variations stratégiques au cours du vieillissement dans les domaines cognitifs et sensori-moteurs. Dans **l'Expérience 1**, nous déterminons si les variations stratégiques observées dans plusieurs domaines cognitifs peuvent se généraliser au domaine sensori-moteur. Dans **l'Expérience 2**, nous étudions le rôle des fonctions exécutives dans l'évolution avec l'âge des variations stratégiques au cours d'une tâche sensori-motrice. Dans **l'Expérience 3**, nous étudions l'évolution avec l'âge des variations stratégiques chez le même groupe d'individus effectuant une tâche cognitive (tâche de résolution de problèmes arithmétiques) et une tâche sensori-motrice (tâche de Fitts). Dans **l'Expérience 4**, nous proposons d'étudier les variations stratégiques observées dans les tâches sensori-motrices chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers. Dans **l'Expérience 5**, nous testons l'effet d'un programme d'entraînement sur les variations stratégiques observées chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers. Enfin, dans une dernière partie, nous discutons l'implication de nos résultats.

PARTIE THÉORIQUE

Chapitre 1

Vieillessement cognitif et sensori-moteur : Une approche quantitative

Selon l'approche quantitative, la diminution des performances cognitives, depuis les niveaux les plus élémentaires (e.g., la perception) jusqu'aux niveaux les plus intégrés (e.g., le raisonnement), résulterait d'une diminution des ressources de traitement. La différence de performances entre les jeunes et les âgés pourrait être due à la diminution au cours du vieillissement de la vitesse de traitement de l'information (Salthouse, 1996), des ressources attentionnelles disponibles pour initier les opérations cognitives ou motrices (Anderson & Craik, 2000; Craik, 1986) ou des fonctions exécutives (West, 1996). Dans la première partie de ce chapitre, nous faisons une synthèse de la littérature sur les variations quantitatives avec l'âge dans les domaines de la cognition et de la sensori-motricité. Puis, dans une deuxième partie, nous rapportons les résultats des travaux empiriques qui montrent une évolution commune de la cognition et de la sensori-motricité avec l'avancée en âge.

1. Variations quantitatives au cours du vieillissement cognitif

Les recherches sur le vieillissement cognitif ont permis de décrire avec précision les changements cognitifs qui apparaissent avec l'avancée en âge (Craik & Salthouse, 2008; Patrick, Lemaire & Bherer, 2005; Park & Schwarz, 2000; Salthouse, 2010). Ces recherches ont été menées dans des domaines cognitifs variés et ont permis de mettre en évidence une diminution

avec l'âge de l'efficacité des processus mis en œuvre. Dans cette partie, nous décrivons l'impact du vieillissement sur plusieurs grandes fonctions cognitives telles que la mémoire, l'attention, ou la résolution de problèmes. Nous verrons que les effets du vieillissement ne sont pas les mêmes selon les fonctions cognitives étudiées.

1.1. La mémoire

La mémoire est l'une des fonctions cognitives les plus importantes. Elle permet d'encoder une information, de la stocker, puis de la récupérer, de façon automatique ou volontaire. Les recherches expérimentales ont permis de faire la distinction entre plusieurs systèmes mnésiques. La mémoire à court terme (ou mémoire de travail) est une mémoire de l'instant, c'est-à-dire qu'elle permet de stocker et de traiter des informations pendant une courte durée, comme par exemple, retenir un numéro de téléphone que l'on veut composer ou effectuer un calcul mental. Les autres systèmes mnésiques fonctionnent à plus long terme. La mémoire épisodique permet de stocker et de récupérer des souvenirs personnels sur des événements vécus, alors que la mémoire sémantique est la mémoire des connaissances générales sur le monde, incluant les faits, les concepts et le vocabulaire. Enfin, la mémoire implicite est la mémoire des informations et actions qui ne font pas intervenir directement la conscience. Elle comprend la mémoire procédurale qui permet l'apprentissage, le stockage et la récupération de procédures perceptuelles, sensori-motrices et cognitives, comme faire du vélo ou jouer d'un instrument de musique. Plusieurs études se sont intéressées aux effets du vieillissement sur la mémoire. Ces études ont montré que l'âge n'affecte pas les différents systèmes mnésiques de la même façon.

1.1.1. La mémoire de travail

La mémoire de travail joue un rôle fondamental dans la cognition et est impliquée dans plusieurs activités cognitives telles que le raisonnement, la résolution de problème, la prise de décision ou le traitement du langage. Selon (Baddeley, 2000), la mémoire de travail comprend quatre composantes : un système central exécutif (ou administrateur central), deux systèmes esclaves (i.e., le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique) et une interface avec la mémoire épisodique. L'administrateur central aurait pour fonction de contrôler l'allocation des ressources attentionnelles, de coordonner les deux systèmes esclaves, de transférer les informations en mémoire à long terme et de prendre des décisions. La boucle phonologique serait impliquée dans la compréhension du langage oral et permettrait l'autorépétition mentale dans le but de maintenir l'information. Le calepin visuo-spatial coordonnerait les processus impliqués dans les tâches d'imagerie mentale. Enfin, la mémoire tampon épisodique serait une interface avec la mémoire à long terme. Deux types d'empan permettent d'évaluer les différentes composantes de la mémoire de travail. D'une part, l'empan de simple stockage évalue soit les capacités de la boucle phonologique, soit les capacités du calepin visuo-spatial ; d'autre part, l'empan de stockage et de traitement évalue, à la fois, les capacités de l'administrateur central et de l'un des deux sous-systèmes esclaves.

Pour évaluer l'empan de simple stockage, les chercheurs utilisent des tâches d'empan de chiffres, d'empan de mots ou d'empan visuo-spatial. Ces tâches consistent à présenter des séquences de longueur croissante de chiffres ou de mots (pour la modalité verbale) à des participants qui doivent les retenir et les rappeler immédiatement (pour la modalité visuo-spatiale, les séquences à retenir et à reproduire sont désignées par l'expérimentateur sur une planche de bois qui comporte neuf cubes). Certaines études comparant les empans d'adultes jeunes et âgés

n'ont rapporté aucune différence entre les deux groupes d'âge (e.g., Belleville, Peretz, & Malenfant, 1996; Craik, 1977; Gilhooly, Wynn, Phillips, Logie, & Della Sala, 2002; Vecchi & Cornoldi, 1999) tandis que d'autres ont rapporté une diminution de la taille des empan au cours du vieillissement (Jenkins, Myerson, Joerding, & Hale, 2000; Kynette, Kemper, Norman, & Cheung, 1990; Park et al., 2002).

Pour évaluer l'empan de stockage et de traitement, les chercheurs demandent aux participants de rappeler les séquences de chiffres ou de mots dans l'ordre inverse. Pour cela, il est également nécessaire de solliciter l'administrateur central pour manipuler mentalement les informations qui sont plus perceptivement présentes. Dans ce type d'évaluation, des tâches d'empan de lecture ou encore d'empan calculatoire peuvent également être utilisées. Les études réalisées dans le cadre du vieillissement montrent que les adultes âgés ont plus de difficultés que les adultes jeunes à manipuler et traiter les informations (e.g., Daneman & Carpenter, 1980; DeDe, Caplan, Kemtes, & Waters, 2004; Park et al., 1996; Salthouse & Babcock, 1991).

1.1.2. La mémoire épisodique

La mémoire épisodique est considérée comme le système mnésique le plus altéré au cours du vieillissement (e.g., Isingrini & Taconnat, 1997). Pour étudier les effets de l'âge sur la mémoire épisodique, les chercheurs utilisent le plus souvent des listes de mots ou d'images que les participants doivent mémoriser et rappeler ultérieurement lors d'une tâche de rappel libre (i.e., sans aucun indice), de rappel indicé (i.e., la catégorie sémantique du mot est fournie par l'expérimentateur) ou de reconnaissance (i.e., identifier des stimuli cibles qui font partie de la liste d'apprentissage parmi des stimuli distracteurs). Les études menées (Craik, Byrd, & Swanson, 1987; Isingrini, Hauer, & Fontaine, 1996; Smith, 1977) montrent que, quelle que soit la

modalité de rappel, le nombre de mots correctement rappelés diminue avec l'âge. De plus, les données montrent que les effets du vieillissement sont plus importants dans les tâches de rappel libre que dans les tâches de rappel indicé ou de reconnaissance (voir Cansino, 2009, pour une revue). Cette différence proviendrait d'une difficulté plus importante du rappel libre qui requiert la mise en œuvre spontanée de processus auto-initiés de récupération.

1.1.3. La mémoire sémantique

Contrairement à la mémoire épisodique, l'organisation de la mémoire sémantique demeure relativement stable au cours du vieillissement (Grieder et al., 2012; L. L. Light, 1992; Verhaeghen, 2003). Cette organisation de la mémoire sémantique a été notamment étudiée avec des tâches dites « tâche d'amorçage ». Dans ce type de tâche, on présente d'abord au participant un mot amorce (e.g., ananas, boulanger) pendant une durée variable (e.g., 100 ms), puis une suite de lettres qui peuvent former soit un mot soit un non-mot (e.g., xuxtnap). Le participant doit dire le plus rapidement possible et sans erreur si la suite de lettres forme un mot. Par exemple, dans une tâche de décision lexicale, Grieder et al. (2012) ont présenté à des participants jeunes et âgés des paires de mots et de non-mots. Les paires de mots (amorce + cible) présentées étaient composées soit de mots concrets (e.g., bougie) soit de mots abstraits (e.g., espoir). De plus, les paires de mots étaient soit sémantiquement reliées (e.g., ananas-banane) soit sémantiquement non-reliées (e.g., ananas-boulangier). Leurs résultats montrent que le temps de décision lexicale était plus court lorsque les paires étaient composées de mots concrets que lorsqu'elles étaient composées de mots abstraits. De plus, l'effet d'amorçage (mesuré par la différence de temps entre les amorces reliées et non reliées) étaient présents chez les adultes jeunes et âgés. Ceci suggère que, chez les jeunes comme chez les âgés, l'amorce activerait des concepts qui

entraîneraient l'activation automatique des concepts qui lui sont associés (ici le mot cible). Ces effets d'amorçage similaires chez les adultes jeunes et âgés suggèrent donc un maintien de la mémoire sémantique avec l'âge. Toutefois, il existe des différences liées à l'âge dans l'exploitation des connaissances sémantiques, telle que l'accès au lexique, illustré par le phénomène du « mot sur le bout de la langue » (Heine, Ober, & Shenaut, 1999). Ce phénomène surgit lorsqu'un locuteur est momentanément incapable de récupérer la forme phonologique d'un mot qu'il croit pourtant connaître. L'augmentation avec l'âge de ce phénomène résulterait d'un déficit de la transmission de l'information entre les représentations sémantiques et les représentations phonologiques.

1.1.4. La mémoire implicite

La mémoire implicite, qui ne sollicite pas une récupération consciente et contrôlée de l'information, semble en partie épargnée par les effets de l'âge. Par exemple, Moussard, Bigand, Clément, & Samson (2008) ont demandé à des participants jeunes et âgés d'effectuer une tâche de catégorisation. Au cours de la phase d'exposition, les participants devaient écouter 20 extraits musicaux joués au piano (issus de l'œuvre de J-S Bach) et dire s'ils appréciaient ou non le morceau. Ensuite, lors de la phase test, les participants entendaient 32 nouveaux morceaux (16 extraits de Bach, mais différents de ceux écoutés en exposition et 16 extraits émanant d'autres compositeurs) et devaient indiquer s'ils les avaient déjà entendus. Les résultats montrent que le pourcentage de réponses correctes chez les étudiants et les adultes âgés est équivalent (environ 70%), suggérant une préservation de l'apprentissage implicite au cours du vieillissement. Cependant, une diminution des performances était observée lorsque les auteurs ont demandé explicitement aux participants de mémoriser les morceaux pour les reconnaître ultérieurement.

1.2. L'attention

L'attention est impliquée dans toutes les tâches cognitives et dans de nombreuses activités de la vie quotidienne (e.g., conduite automobile, apprentissages scolaires). Elle se caractérise par plusieurs fonctions. L'attention sélective est la capacité à traiter une source d'information aux dépens d'autres sources non pertinentes pour accomplir la tâche. La flexibilité attentionnelle permet de traiter en alternance différentes sources d'information. La concentration permet de traiter de manière soutenue et prolongée une source d'information particulière. L'attention partagée consiste à traiter simultanément plusieurs sources d'informations importantes pour réussir la tâche. Enfin, l'attention préparatoire permet de se préparer au traitement d'un stimulus. De manière globale, quelle que soit la situation, chacune des dimensions de l'attention est affectée par le vieillissement (voir Maquestiaux, 2013, pour une revue).

1.2.1. L'attention sélective

Pour étudier les effets du vieillissement sur les capacités d'attention sélective, des tâches de recherche visuelle sont généralement utilisées pour reproduire des situations de la vie quotidienne où nous devons, par exemple, retrouver une personne dans une foule. Ainsi, Haring et al. (2013) ont présenté des séries de lettres bleues et rouges à des participants jeunes et âgés. Ils leur ont demandé de ne prêter attention qu'aux lettres figurant dans la couleur désignée, tout en ignorant les lettres qui apparaissaient dans l'autre couleur. Les participants devaient appuyer sur une touche uniquement pour cibler les lettres apparaissant dans la couleur désignée. Les résultats montrent que les performances des âgés sont particulièrement affectées par la présence de stimuli non pertinents comparativement aux adultes jeunes, suggérant que les capacités à sélectionner

une source d'information pertinente pour une tâche cognitive sont altérées au cours du vieillissement.

1.2.2. La flexibilité attentionnelle

Lorsque nous conduisons sur un chemin inconnu, il est parfois nécessaire d'éteindre la radio pour se concentrer sur la conduite, quitte à la rallumer une fois le chemin trouvé. Pour alterner entre plusieurs sources d'informations, nous faisons preuve de flexibilité attentionnelle. L'évolution avec l'âge de la flexibilité attentionnelle peut être étudiée en utilisant des tâches de switching inter-tâches. Par exemple, dans le Trail Making Test (TMT), les participants effectuent la tâche en deux sous-parties. La partie A du TMT comporte des pastilles numérotées de 1 à 25, alors que la partie B comprend des pastilles numérotées de 1 à 13 et des pastilles alphabétiques allant de A à L. Le test se déroule en deux parties : dans la partie A, les participants doivent relier les 25 pastilles aussi rapidement que possible dans l'ordre croissant ; dans la partie B, ils doivent relier le plus rapidement possible les 25 pastilles en alternant entre un nombre et une lettre (i.e., 1-A-2-B-3-C-4-D). Les vitesses de réalisation de chacune des parties sont mesurées ainsi que la présence d'erreurs dans la procédure d'alternances requise par la partie B. Tombaugh (2004) montre que les participants âgés sont plus lents et commettent plus d'erreurs d'alternances que les adultes jeunes, suggérant une altération avec l'âge des capacités à alterner l'attention entre différences sources à différents moments (voir aussi Kray, Eber, & Lindenberger, 2004; Kray, Li, & Lindenberger, 2002).

1.2.3. L'attention soutenue

L'attention soutenue (ou concentration) permet de traiter en profondeur une ou plusieurs informations en restant concentré pendant une durée relativement longue. Pour étudier les capacités de concentration, les chercheurs peuvent utiliser des tâches de détection. Par exemple, dans une tâche de détection impliquant de mobiliser des ressources attentionnelles de façon soutenue, McAvinue et al. (2012) ont demandé à des participants jeunes et âgés d'appuyer sur une touche à l'apparition de chiffres allant de 1 à 9, à l'exception du chiffre 3 pour lequel ils ne devaient pas appuyer. Les adultes âgés étaient globalement plus lents, commettaient plus de fausses alarmes (i.e., appuyer sur la touche lorsque le chiffre 3 apparaissait) et d'omissions (i.e., ne pas appuyer sur la touche à l'apparition d'un autre chiffre que 3) que les adultes jeunes. Ces résultats suggèrent que les capacités à rester concentré pendant une durée relativement longue diminuent également avec l'âge (voir Staub, Doignon-Camus, Després, & Bonnefond, 2013, pour une revue).

1.2.4. L'attention partagée

L'attention partagée est impliquée dans diverses activités de la vie quotidienne comme lorsque nous cuisinons tout en tenant une conversation. Nous devons allouer nos ressources attentionnelles parallèlement aux informations et activités relatives à la cuisine (e.g., découper les aliments, peser les ingrédients) et relatives à la conversation (e.g., encoder le message de l'interlocuteur, lui répondre). Pour étudier les effets de l'âge les capacités à traiter en parallèle plusieurs informations et à gérer l'allocation des ressources attentionnelles entre plusieurs cibles simultanément, les chercheurs utilisent souvent la technique d'écoute dichotique. Dans une situation d'écoute dichotique, les participants écoutent deux messages différents, un dans chaque

oreille. La comptabilisation du nombre de messages correctement entendus pour chaque oreille nous renseigne sur les capacités du participant à allouer ses ressources sur les deux canaux. Les études menées dans le cadre du vieillissement montrent une détérioration des capacités à partager l'attention entre plusieurs cibles (e.g., Andersson, Reinvang, Wehling, Hugdahl, & Lundervold, 2008).

1.2.5. L'attention préparatoire

L'attention préparatoire permet de se préparer au traitement d'une information ou à la programmation d'une réponse, comme par exemple lorsque nous patientons en voiture que le feu passe au vert pour appuyer sur l'accélérateur. De nombreuses études ont montré qu'avec l'âge, l'attention préparatoire se détériore. Par exemple, Bherer et Belleville (2004) ont demandé à des participants jeunes et âgés d'appuyer et de maintenir un bouton pendant une durée variable (ou intervalle préparatoire) lorsque sur un écran apparaissait le mot « OK ». Puis, lorsqu'un cercle noir leur était présenté, ils devaient appuyer sur un autre bouton. Les résultats montrent que le temps nécessaire pour appuyer sur un autre bouton à l'apparition du cercle dépend de l'intervalle préparatoire. De manière générale, les participants jeunes et âgés appuyaient plus rapidement sur l'autre bouton après un intervalle long. Cependant, les participants âgés répondaient moins rapidement que les participants jeunes après un intervalle préparatoire court. Ces résultats suggèrent qu'avec l'âge le temps de préparation augmente et que son efficacité diminue.

1.3. La résolution de problèmes

Au quotidien, nous sommes confrontés à résoudre différents types de problèmes. Le terme de résolution de problèmes est abordé au sens large, c'est-à-dire qu'il implique également le

raisonnement et la prise de décision. La résolution de problèmes peut être considérée comme une activité qui consiste à transformer une situation d'un état initial à un état final (Chi & Glaser, 1985). Elle implique la mobilisation de ressources attentionnelles ainsi que l'intégration, la coordination et l'utilisation de nos connaissances en mémoire. On distingue au moins deux types de problèmes : les problèmes bien définis et les problèmes mal définis. Lorsqu'un problème est bien défini, l'état initial et l'état final du problème sont clairement énoncés (e.g., une grille sudoku) alors que lorsqu'un problème est mal défini, son état final n'est pas clairement établi (e.g., peinture illustrant une nature morte). Les chercheurs ont notamment étudié les problèmes bien définis car ces types de problèmes sont plus faciles à étudier et permettent d'aboutir à des interprétations et des conclusions plus précises dans l'analyse des performances. Les études menées sur le raisonnement et la résolution de problèmes montrent que la structure des problèmes module les performances des individus au cours du vieillissement.

Le raisonnement est couramment décrit comme une habileté cognitive de haut niveau incluant notamment des capacités de déduction et d'induction permettant la résolution de problèmes. De nombreuses études ont montré une diminution des performances dans des tâches de raisonnement déductif (i.e., dériver les implications de prémisses) et inductif (i.e., découvrir les règles générales communes à des exemples particuliers). Par exemple, Salthouse (1992) a utilisé une tâche de raisonnement déductif dans laquelle des participants, âgés de 18 à 80 ans, voyaient de une à trois prémisses et devaient ensuite répondre à une question par « oui » ou « non ». Le nombre de prémisses était manipulé afin de déterminer si les effets d'âge étaient plus importants sur des problèmes plus complexes (i.e., comportant plus de prémisses). Les résultats ont montré que les performances sur les problèmes complexes étaient davantage affectées par le vieillissement. En effet, alors que pour les problèmes à une prémisse aucun effet d'âge n'était

observé, les données montrent que pour les problèmes à deux mais surtout à trois prémisses, le nombre de problèmes correctement résolus diminue au cours du vieillissement.

De même, Salthouse et Prill (1987) ont donné à des participants jeunes et âgés une tâche de raisonnement inductif dans laquelle ils devaient compléter des suites numériques comportant des problèmes faciles (e.g., 19-22-25-28-31), moyennement difficiles (e.g., 63-91-65-94-67) et difficiles (e.g., 84-66-52-42-36). Les données montrent clairement que la différence entre les performances des adultes jeunes et âgés augmentait d'autant plus que l'inférence inductive était difficile à réaliser. Ces résultats suggèrent qu'avec l'âge, la capacité à effectuer des inférences n'est pas entièrement détériorée mais qu'elle est plus difficile à mettre en œuvre lorsqu'elle doit intégrer une quantité plus élevée d'informations.

2. Variations quantitatives au cours du vieillissement sensori-moteur

De nombreux travaux se sont intéressés à l'étude du déclin avec l'âge des fonctions sensori-motrices. D'une part, l'approche neurophysiologique a permis d'étudier les mécanismes de contrôle (i.e., préparation, programmation et exécution du mouvement) en fonction du type de tâche (i.e., posture, marche, coordination motrice, préhension ou atteinte manuelle) comme s'ils étaient totalement spécifiques et indépendants les uns des autres (voir Spirduso, 2005), pour une revue). D'autre part, l'approche psychologique a permis de mettre en évidence des changements dans les ressources de traitement (e.g., la diminution de la vitesse de traitement de l'information, VTI) pouvant se généraliser à travers les différentes tâches. Dans cette dernière approche, les tâches de temps de réaction et d'atteinte manuelles ont largement été utilisées afin d'étudier le ralentissement comportemental (i.e., l'augmentation avec l'âge des temps de réponse) et la variabilité du mouvement puisqu'elles permettent de séparer les mécanismes de contrôle central

(i.e., programmation et organisation du mouvement) et les mécanismes de contrôle périphérique (i.e., exécution du mouvement).

Dans le domaine de la sensori-motricité, un consensus très général se dégage admettant que les effets du vieillissement se traduisent par un ralentissement du temps d'initiation du mouvement ou temps de réaction (e.g., Falkenstein, Yordanova, & Kolev, 2006; Kolev, Falkenstein, & Yordanova, 2006; K. E. Light & Spirduso, 1990; Yordanova, Kolev, Hohnsbein, & Falkenstein, 2004) et du temps d'exécution ou temps de mouvement (e.g., Ketcham et al., 2002; Rey-Robert, Temprado, & Berton, 2011; Rey-Robert et al., 2012; Temprado et al., 2013). Plus précisément, comparativement aux adultes jeunes, les adultes âgés prennent à la fois plus de temps pour planifier (i.e., initier le mouvement après un signal) et réorganiser leur mouvement (i.e., apporter des corrections en ligne). Ce phénomène général de ralentissement des réponses, conséquence du vieillissement du système nerveux central, est considéré par certains auteurs comme reflétant un ralentissement de la VTI (Sleimen-Malkoun et al., 2013). Nous présentons ici les travaux, menés dans le cadre de la chronométrie mentale, qui se sont principalement intéressés à quantifier le temps requis pour exécuter une réponse appropriée afin de mieux comprendre les changements au cours du vieillissement.

Un ralentissement de la réponse motrice (i.e., diminution du temps de mouvement) a été observé dans diverses tâches quotidiennes telles que les tâches de pointage (Goggin & Meeuwsen, 1992; Rey-Robert et al., 2012; Temprado et al., 2013; J H Yan, Thomas, & Stelmach, 1998; J H Yan, Thomas, Stelmach, & Thomas, 2000), de poursuite (Durkin, Prescott, Furchtgott, Cantor, & Powell, 1995; Wright & Payne, 1985) ou de coordination motrice (Contreras-Vidal, Teulings, & Stelmach, 1998; Greene & Williams, 1996; Wishart, Lee, Murdoch, & Hodges, 2000). Le temps de mouvement (TM) correspond au temps qui sépare l'initiation du mouvement de la fin du mouvement. Selon les études, le TM des adultes âgés serait plus long de 30% à 69%

par rapport aux adultes jeunes (voir Ketcham & Stelmach, 2001, pour une revue). Il apparaît également que les adultes âgés sont plus affectés que les adultes jeunes par l'augmentation de la difficulté du mouvement à réaliser (Goggin & Meeuwsen, 1992; Haaland, Harrington, & Grice, 1993; Ketcham et al., 2002; Rey-Robert et al., 2012; Teeken et al., 1996; Temprado et al., 2013; J H Yan, 2000; York & Biederman, 1990). Par ailleurs, on sait, depuis l'expérience de Woodworth (1899), dans laquelle les participants devaient réaliser des mouvements de pointage alternativement d'une cible à une autre, que l'augmentation de la vitesse d'un mouvement se fait aux dépens d'une perte de précision. Cette problématique sera reprise par Fitts (1954) et formalisée dans le cadre de la théorie de l'information. Pour Fitts, la quantité d'informations qui doit être traitée pendant un mouvement de pointage vers une cible, dépend à la fois de l'amplitude du mouvement (D) et de la taille de la cible (W). Un mouvement est donc rendu plus difficile si on augmente la distance à parcourir et/ou si on diminue la taille de la cible, définissant ainsi l'indice de difficulté (ID). Cet ID s'exprime en bits et est calculé selon la formule : $ID = \text{Log}_2(2D/W)$. Selon Fitts, le TM est lié linéairement à l' ID par la relation : $TM = a + b (ID)$ où a et b sont des constantes empiriques. Il est admis que la pente de la loi de Fitts quantifie de manière globale les capacités de traitement de l'information du système nerveux central. Ainsi, plus la pente varie, plus il faudra de temps pour traiter une quantité d'informations. Cette loi est très robuste chez les adultes jeunes comme chez les plus âgés (Rey-Robert et al., 2012; Temprado et al., 2013). Toutefois, les recherches montrent que dans ce type de tâche, lorsque la difficulté de la tâche augmente, le TM des adultes âgés est allongé par rapport aux adultes jeunes (Haaland et al., 1993; Ketcham et al., 2002; Rey-Robert et al., 2012; Teeken et al., 1996; Temprado et al., 2013; Welford, Norris, & Shock, 1969; York & Biederman, 1990). De plus, la pente de la loi de Fitts varie généralement moins chez les adultes jeunes que chez les adultes âgés (Rey-Robert et al., 2012; Temprado et al., 2013).

Nous avons vu précédemment qu'il existait deux manières d'augmenter la difficulté d'une tâche de pointage (ou tâche de Fitts) : soit en diminuant la taille de la cible (W) soit en augmentant la distance à parcourir (D). Des études récentes (Sleimen-Malkoun, Temprado, Huys, Jirsa, & Berton, 2012; Temprado et al., 2013) montrent que ces deux types de manipulation sollicitent différemment le système de traitement de l'information. En effet, il a été observé que la pente de la loi de Fitts varie plus lorsque l'on fait varier D que lorsque l'on fait varier W , suggérant que ces deux types de manipulation sollicitent de façon spécifique les mécanismes sensori-moteur de programmation et de contrôle en ligne. De plus, il apparaît que cette différence entre les deux manipulations serait accentuée au cours du vieillissement (voir Goggin & Meeuwsen, 1992; Ketcham et al., 2002, pour une absence d'effet). Plus précisément, l'effet de l'âge était plus important pour la manipulation de D que pour la manipulation de W .

En résumé, ces études chronométriques mettent en évidence un ralentissement de l'exécution de la réponse motrice au cours du vieillissement. De plus, cet effet est amplifié lorsque le mouvement à réaliser devient plus complexe. D'autres études montrent également que le ralentissement de la réponse au cours du vieillissement s'accompagne d'une augmentation de la variabilité des performances (Meyer, Abrams, Kornblum, Wright, & Smith, 1988; Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank, & Quinn Jr., 1979; Slifkin & Newell, 1999; Sosnoff & Newell, 2006). L'augmentation de la variabilité serait le reflet de l'augmentation du bruit neural qui interfère avec la transmission de l'information au sein du système nerveux central (Gregory, 1957; Shu Chen Li, Lindenberger, & Sikström, 2001; Welford, 1981). Cette augmentation avec l'âge de la variabilité a pu être mise en évidence dans certains types de tâche tels que la marche (Hausdorff, Edelberg, Mitchell, Goldberger, & Wei, 1997), le pointage (Ketcham et al., 2002) ou la production de force (Sosnoff & Newell, 2006).

Le vieillissement est un phénomène naturel inéluctable qui se traduit par une diminution des performances dans la plupart des domaines de la cognition et de la sensori-motricité. Même si les effets du vieillissement varient en fonction des domaines, indépendamment de la nature cognitive ou sensori-motrice de la tâche à réaliser, les personnes âgées réagissent et effectuent les différentes tâches plus lentement que les adultes jeunes. Cependant, nous avons également constaté que certaines fonctions cognitives ne montrent pas d'altération des performances au cours du vieillissement (e.g., la mémoire implicite). Par ailleurs, nous avons pu voir que les différences liées à l'âge augmentaient en fonction de la complexité de la tâche. En effet, plus la tâche cognitive ou sensori-motrice est coûteuse en ressources de traitement plus les différences entre les adultes jeunes et âgés sont importantes. Les résultats présentés au cours de ce chapitre permettent de mieux comprendre comment les effets du vieillissement dans les tâches cognitives et motrices. Cependant, cette approche ignore les liens entre cognition et sensori-motricité et leur évolution au cours du vieillissement. Pourtant, de nombreux travaux montrent que les interactions entre la cognition et sensori-motricité sont de plus en plus fortes au cours du vieillissement (voir Schäfer et al., 2006, pour une revue). Ces travaux seront développés dans la suite de ce chapitre.

3. Vieillesse cognitive et sensori-motrice : une évolution commune

Dans la littérature, le vieillissement cognitive et sensori-motrice sont généralement étudiés séparément. Toutefois, au cours des dix dernières années, des études ont permis de mettre en évidence que les interactions entre les processus cognitifs et sensori-moteurs étaient de plus en plus fortes au cours du vieillissement (Li & Lindenberger, 2002; Schaefer & Schumacher, 2010; Schäfer et al., 2006), suggérant que des mécanismes communs seraient responsables du déclin avec l'âge des performances cognitives et sensori-motrices (Baltes & Lindenberger, 1997;

Lindenberger & Baltes, 1994). Nous décrivons ici les résultats issus d'études corrélationnelles et ceux utilisant le paradigme de double-tâche.

3.1. Les études corrélationnelles

Les études corrélationnelles visent à tester les participants dans plusieurs types de tâche d'un même domaine ou de domaines différents et d'analyser ensuite les corrélations entre les performances obtenues dans les différentes tâches. De nombreuses études se sont intéressées aux relations entre les performances aux tâches cognitives et sensorielles (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994; Wilson et al., 2002) ou cognitives et motrices (K J Anstey, Lord, & Williams, 1997; K J Anstey & Smith, 1999; K J Anstey, 1999). Ces études ont notamment utilisé des mesures d'acuité visuelle ou auditive, de la force de préhension, de la force des membres inférieurs, ou du volume expiratoire maximal. Une autre étude a même utilisé la modalité tactile (Li, Jordanova, & Lindenberger, 1998). Par exemple, afin d'étudier l'évolution avec l'âge des interactions entre le fonctionnement sensoriel et l'intelligence, Baltes et Lindenberger (1997) ont corrélié les performances obtenues à une batterie de 14 tests cognitifs mesurant cinq habiletés intellectuelles (i.e., vitesse de perception, capacités de raisonnement, mémoire, connaissances et fluence verbale) avec deux mesures de performances sensorielles (i.e., acuité visuelle et auditive) dans un groupe de 687 participants, âgés de 25 à 103 ans. Les résultats montrent que la vision et l'audition prédisaient 11% de la variance totale pour le groupe 25-69 ans et pouvaient prédire jusqu'à 31% de la variance totale pour le groupe 70-103 ans. Les auteurs suggèrent que les mécanismes conduisant au déclin des performances sensorielles influenceraient également les mécanismes cognitifs lors de tâches complexes, en raison de l'existence d'une cause commune (voir également Lindenberger & Baltes, 1994). Les travaux de Salthouse,

Hancock, Meinz, et Hambrick (1996) ont également montré une augmentation avec l'âge de l'association entre les performances aux tâches cognitives et sensorielles en utilisant différentes mesures telles que l'acuité visuelle, la mémoire de travail, l'apprentissage associatif et l'identification de concept. De la même façon, Li, Aggen, Nesselroade, et Baltes (2001) ont mis en évidence l'existence d'une association entre les performances de mémorisation (verbale et spatiale) et les capacités de marche, chez des adultes âgés de 64 à 86 ans. Les variations de performances sensori-motrices augmentaient avec l'âge et corrélaient négativement avec le niveau de performances cognitives, suggérant l'existence d'un facteur commun, tel que l'altération des fonctions neurologiques, qui devient de plus en plus importante avec l'avancée en âge (Li et al., 2001; Li & Lindenberger, 1999). D'autres études ont montré une association entre les performances sensori-motrices (ou physiques) et cognitives. Par exemple, Anstey et al. (1997) ont testé le pouvoir prédictif de trois mesures sensori-motrices différentes sur le fonctionnement cognitif. Pour cela, ils ont corrélé les performances obtenues à partir des mesures de force musculaire (d'un groupe de cinq muscles de la jambe dominante), de temps de réaction (TR) et de sensibilité au contraste visuel par un groupe de 202 participantes âgées de 60 à 86 ans. Leurs résultats montrent, comme ceux de Lindenberger et Baltes (1994) et Baltes et Lindenberger (1997), que les performances obtenues aux tâches de raisonnement étaient associées aux mesures de sensibilité au contraste visuel et de TR. Toutefois, il apparaît que la mesure de la force musculaire de la jambe dominante aurait un pouvoir prédictif supérieur à celle des deux autres. Ainsi, la force physique et l'évolution avec l'âge des capacités de raisonnement seraient étroitement liées aux modifications que subit le système nerveux central. Christensen, Mackinnon, Korten, et Jorm (2001) ont également montré que l'association entre la force de préhension et l'acuité visuelle augmentait significativement avec l'âge (voir également Anstey, Luszcz, & Sanchez, 2001; Anstey & Smith, 1999).

Il faut noter cependant, que certaines critiques ont été émises quant à l'interprétation des résultats issus de ces études transversales et ont conduit plusieurs études longitudinales à nuancer ces résultats (Hofer & Sliwinski, 2001; Li & Lindenberger, 2002; Sliwinski & Hofer, 1999). Lindenberger et Ghisletta (2009) ont, par exemple, évalué à six reprises sur une période de treize ans, les performances obtenues par un groupe de 506 participants âgés de 70 à 103 ans (lors de la première mesure) dans huit tâches cognitives et trois tâches sensorielles. Pour les tâches cognitives, quatre capacités intellectuelles ont été évaluées : la vitesse de perception, la fluence verbale, la mémoire épisodique et les connaissances verbales (chacune mesurée avec deux tâches différentes). Pour les tâches sensorielles, les auteurs ont utilisé trois mesures différentes : l'acuité visuelle, de près et de loin et l'acuité auditive. Les résultats obtenus montrent que 60% de la variance était partagée entre cinq tâches cognitives, alors que les résultats concernant les relations entre les domaines cognitifs et sensoriels étaient moins clairs, puisque le déclin de l'acuité visuelle n'était que modérément associé au déclin du fonctionnement cognitif. D'après les auteurs, le vieillissement cognitif proviendrait de mécanismes généraux et suggèrent que les relations entre le fonctionnement cognitif et sensori-moteur seraient plus faibles que celles reportées par les études transversales.

En résumé, d'après les études corrélationnelles transversales il y aurait une augmentation avec l'âge des relations entre les processus cognitifs, sensoriels et sensori-moteurs (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). Les études longitudinales confirment cette augmentation avec l'âge des corrélations au sein des différents domaines cognitifs, toutefois, ces relations seraient moins prononcées entre les domaines cognitifs et sensoriels (Anstey, Hofer, & Luszcz, 2003; Lindenberger & Ghisletta, 2009; Wilson et al., 2002). Ces résultats suggèrent donc l'existence de mécanismes communs au sein des différents domaines qui seraient sensibles aux effets du vieillissement (Anstey, 1999; Baltes & Lindenberger, 1997; Christensen et al., 2001;

Lindenberger & Baltes, 1994). Ces mécanismes doivent cependant être identifiés de manière précise.

3.2. Les études en situation double-tâche

Afin de mieux comprendre l'augmentation avec l'âge des relations entre les performances cognitives et sensori-motrices, des études ont utilisé le paradigme de double-tâche (voir Li & Lindenberger, 2002; Schäfer et al., 2006, pour des revues). Ce paradigme consiste à demander aux participants d'effectuer d'abord deux tâches séparément, puis de les réaliser simultanément. De cette manière, il est possible de mesurer le coût de la tâche principale sur la tâche secondaire. L'hypothèse sous-jacente étant que plus la tâche principale est coûteuse en ressources attentionnelles ou en fonctions exécutives (FEs), plus on observera une diminution des performances à la tâche secondaire. Ainsi, pour tester les relations entre les performances obtenues dans les domaines cognitifs et sensori-moteurs, les tâches motrices sont généralement utilisées comme tâche principale et les tâches cognitives comme tâches secondaires.

De nombreuses études ont montré que chez les adultes âgés, la diminution des performances dans le cadre de la double tâche était plus importante que celle observée chez les adultes jeunes (Brauer, Woollacott, & Shumway-Cook, 2001; Brown, Sleik, Polych, & Gage, 2002; Huxhold, Li, Schmiedek, & Lindenberger, 2006; Jamet, Deviterne, Gauchard, Vançon, & Perrin, 2004; K. Z. Li, Lindenberger, Freund, & Baltes, 2001; Lindenberger, Marsiske, & Baltes, 2000). En effet, l'exécution d'une tâche sensori-motrice requerrait plus de contrôle cognitif (ou FEs) au cours du vieillissement et conduirait ainsi à une baisse des performances plus importante chez les adultes âgés que chez les adultes jeunes (Li & Lindenberger, 2002; Schäfer et al., 2006; Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Par exemple, Lindenberger et al. (2000) ont utilisé le

paradigme de double tâche afin de tester des adultes jeunes (20-30 ans), moyennement âgés (40-50 ans) et âgés (60-70 ans) dans une tâche de marche combinée à une tâche de mémoire. Les participants des trois groupes d'âge étaient d'abord entraînés à encoder des listes de mots afin d'obtenir des performances comparables, puis ils devaient suivre un circuit (soit ovale soit en zigzag) en étant aussi rapides et précis qu'ils pouvaient. La période d'entraînement en condition simple permettait ainsi aux participants de se familiariser avec chacune des deux tâches avant d'être testés en condition double-tâche. Les auteurs rapportent un ralentissement de la vitesse de marche ainsi qu'une diminution des performances mnésiques. De plus, l'augmentation du coût de la double-tâche apparaissait chez les adultes moyennement âgés (40-50 ans) et cette augmentation était amplifiée chez les adultes âgés, suggérant que les effets du vieillissement conduiraient à une augmentation de l'interdépendance des domaines cognitifs et sensori-moteurs. Li et al. (2001) ont répliqué ces résultats chez des adultes jeunes (20-30 ans) et âgés (60-75 ans) et proposent qu'avec l'âge, les individus investiraient plus de ressources dans la tâche motrice, probablement pour minimiser le risque de chute.

D'autres recherches ont utilisé le paradigme de double-tâche afin de comparer la stabilité posturale des adultes jeunes et âgés pendant une tâche de mémoire (Brown et al., 2002) ou pendant une tâche de résolution de problèmes arithmétiques (Jamet et al., 2004). Les résultats montrent que lorsque la difficulté de la tâche posturale augmente, comparativement aux adultes jeunes, les adultes âgés ont tendance à privilégier le contrôle postural au détriment des performances à la tâche secondaire. Enfin, Lövdén, Schellenbach, Grossman-Hutter, Krüger, et Lindenberger (2005) ont demandé à des hommes jeunes et âgés de marcher sur un tapis roulant et de se rappeler du chemin le plus court pour retrouver un bistro dans un labyrinthe virtuel qui était projeté devant eux. Seuls les âgés se montraient moins stables lorsqu'ils devaient réaliser simultanément la tâche de navigation spatiale comparée à la tâche simple de marche.

3.3. Synthèse et conclusion

L'ensemble des résultats montre une augmentation avec l'âge des relations entre les performances cognitives et sensori-motrices. Les données issues des études corrélationnelles suggèrent que cette augmentation serait l'expression d'une cause commune résultant de modifications de l'intégrité des structures et du fonctionnement cérébral (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). Les résultats des études utilisant le paradigme de double-tâche suggèrent quant à elles, une augmentation avec l'âge de l'interdépendance entre les domaines cognitifs et sensori-moteurs où l'implication du contrôle cognitif dans la réalisation des tâches sensori-motrices augmenterait fortement (Schäfer et al., 2006). De plus, des marqueurs quantitatifs communs au vieillissement cognitif et sensori-moteur ont été identifiés afin de caractériser l'évolution avec l'âge des interactions entre performances cognitives et sensori-motrices. Le ralentissement, considéré par certains auteurs comme reflétant la diminution des capacités de traitement (e.g., Amrhein, Stelmach, & Goggin, 1991; Fozard, Vercryssen, Reynolds, Hancock, & Quilter, 1994; Hale, Myerson, & Wagstaff, 1987; Salthouse, 1996), pourrait être l'une des causes communes possibles de l'augmentation avec l'âge des relations entre cognition et sensori-motricité. Par exemple, Sleimen-Malkoun et al. (2013) ont comparé le ralentissement cognitif et sensori-moteur chez 24 participants (10 adultes jeunes et 14 adultes âgés). Pour cela, ils ont mesuré la VTI dans une tâche de temps de réaction (TR) et dans une tâche de pointage, en utilisant respectivement la loi de Hick-Hyman et la loi de Fitts. Pour rappel, la pente de chacune des deux lois représente la relation linéaire entre le temps de réponse et la complexité de la tâche et traduit la fonction d'efficacité du système de traitement de l'information. Ils ont ainsi montré que les pentes des lois de Hick-Hyman et Fitts étaient différentes chez les adultes jeunes alors qu'elles étaient similaires chez les adultes âgés. Les

auteurs suggèrent que la diminution de la VTI au cours du vieillissement pourrait être une cause commune au ralentissement comportemental observé dans les tâches de TR et de pointage.

Une autre manière de caractériser les interactions entre les performances cognitives et sensori-motrices avec l'avancée en âge serait de comprendre par quels mécanismes surviennent ces changements cognitifs et sensori-moteurs au cours du vieillissement. Pour cela, il conviendrait d'adopter une approche qualitative. Cette approche consiste à s'intéresser à la manière dont les individus abordent les tâches cognitives et/ou sensori-motrices. Dans le chapitre suivant, nous montrons comment l'approche qualitative permet de faire progresser nos connaissances sur l'évolution des performances au cours du vieillissement cognitif d'une part, et sensori-moteur d'autre part.

∞

Chapitre 2

Vieillessement cognitif et sensori-moteur : Une approche qualitative

L'approche quantitative du vieillissement explique le déclin des performances chez les adultes âgés par une diminution de l'efficacité de nombreuses ressources de traitement (e.g., VTI, mémoire de travail, FEs). Toutefois, la plupart des études ayant adopté une approche quantitative ne tiennent pas compte des stratégies mises en œuvre pour accomplir les tâches cognitives ou sensori-motrices. Ainsi, les différences de performances entre les adultes jeunes et âgés pourraient s'expliquer par l'utilisation de stratégies différentes. Par exemple, pour résoudre un problème comme $21 + 36$, les jeunes pourraient rapidement récupérer la somme en mémoire (i.e., 57), alors que les adultes âgés pourraient utiliser une stratégie de comptage longue et coûteuse en ressources cognitives (e.g., $20 + 30 + 1 + 6$). Les adultes âgés seraient ainsi moins rapides que les adultes jeunes, non seulement à cause d'une diminution des ressources cognitives mais également parce qu'ils n'utilisent pas la même stratégie. Cet exemple souligne l'importance d'étudier les stratégies pour mieux comprendre la cognition humaine mais aussi les effets de vieillissement associés.

Dans la première partie de ce chapitre, nous nous intéresserons d'abord aux variations qualitatives avec l'âge dans le domaine de la cognition. Nous montrerons comment ces variations peuvent être étudiées et quels sont les mécanismes qui peuvent être responsables de ces variations au cours du vieillissement. Puis dans une deuxième partie, nous ferons une synthèse de la

littérature sur les variations qualitatives au cours du vieillissement dans le domaine de la sensori-motricité.

1. Variations qualitatives au cours du vieillissement cognitif

Depuis les travaux de Newell et Simon (1972) qui soulignaient l'importance des stratégies pour comprendre la cognition humaine, plusieurs définitions du concept de stratégie ont été proposées dans la littérature. Le point commun à l'ensemble de ces définitions est qu'une stratégie est « une procédure ou un ensemble de procédures mises en œuvre pour atteindre un but cognitif » (Lemaire & Reder, 1999, p. 365). Une stratégie désigne donc une manière particulière de s'y prendre pour réaliser une tâche. Pour étudier quelles sont les stratégies utilisées et savoir si leurs utilisations entraînent des variations de performances entre des groupes d'individus (e.g., adultes jeunes ou âgés) ou entre des situations et conditions expérimentales (e.g., problèmes faciles ou difficiles), Lemaire et Siegler (1995) ont proposé un cadre conceptuel distinguant quatre dimensions (ou variations) stratégiques. Le *répertoire stratégique* caractérise le type et le nombre de stratégies dont disposent les participants pour accomplir une tâche cognitive. La *distribution stratégique* désigne les fréquences relatives d'utilisation de chaque stratégie. L'*exécution stratégique* concerne les niveaux de performance (en termes de vitesse et de précision) associés à chaque stratégie. Enfin, la *sélection stratégique* renvoie aux choix stratégiques opérés sur chaque problème. Quel que soit le domaine de la cognition, les variations de performances peuvent être associées à des variations stratégiques. Ainsi, l'utilisation de ce cadre conceptuel s'est révélée pertinente pour approfondir notre connaissance du vieillissement cognitif et pour comprendre si l'évolution des performances cognitives au cours du vieillissement peut être associée aux stratégies que les individus jeunes et âgés utilisent.

1.1. Vieillessement et variations stratégiques

D'importantes différences entre les adultes jeunes et âgés ont été observées au niveau de ces variations stratégiques dans plusieurs domaines cognitifs tels que la mémoire, la prise de décision ou la résolution de problèmes arithmétiques (voir Hinault & Lemaire, 2016; Lemaire, 2010; 2016, pour des revues).

1.1.1. Vieillessement et répertoire stratégique

Plusieurs études ont révélé qu'avec l'âge, les adultes âgés avaient tendance à utiliser moins de stratégies que les adultes jeunes pour réaliser des tâches cognitives (e.g., Duverne & Lemaire, 2004; Hodzik & Lemaire, 2011; Lemaire & Arnaud, 2008). Les stratégies utilisées par les adultes jeunes ne semblent pas disparaître au cours du vieillissement puisqu'elles sont connues des adultes âgés, mais ne sont tout simplement pas mobilisées par ces derniers. Par exemple, dans une tâche de résolution d'additions de deux nombres à deux chiffres (e.g., $36 + 78$), Lemaire et Arnaud (2008) ont observé que les adultes jeunes et âgés connaissent neuf stratégies. Toutefois, alors que les adultes jeunes utilisent en moyenne cinq stratégies sur les neuf disponibles, les adultes âgés n'en utilisent que trois (voir aussi Geary & Lin, 1998, pour des résultats similaires dans une tâche de soustractions). Cette réduction du répertoire stratégique chez les adultes âgés pourrait s'expliquer par la diminution avec l'âge des ressources cognitives disponibles. Il deviendrait plus coûteux de maintenir un grand nombre de stratégies actives en mémoire de travail pour accomplir une tâche, ce qui conduirait les adultes âgés à en utiliser moins.

1.1.2. Vieillessement et distribution stratégique

Dans les situations où les participants jeunes et âgés utilisent le même nombre et le même type de stratégies, des différences de performances peuvent se manifester lorsque les stratégies disponibles sont utilisées dans des proportions différentes, conduisant à des changements de distribution stratégique (e.g., Bouazzaoui et al., 2010; Gandini, Lemaire, Anton, & Nazarian, 2008; Gandini, Lemaire, & Dufau, 2008; Gandini, Lemaire, & Michel, 2009; Lemaire & Lecacheur, 2007). Par exemple, Bouazzaoui et al. (2010) ont évalué la fréquence d'utilisation des stratégies mnésiques internes (e.g., construction d'images mentales, autorépétition) et des stratégies externes (e.g., utilisation d'agenda ou de listes) et ont observé une augmentation avec l'âge de l'utilisation des stratégies externes ainsi qu'une diminution des stratégies internes (voir aussi Dixon & Hulstsch, 1983; Loewen, Shaw, & Craik, 1990; Tournier & Postal, 2011). De manière générale, les adultes âgés ont tendance à utiliser plus fréquemment les stratégies les moins coûteuses même si elles sont moins efficaces, alors que les adultes jeunes utilisent plus souvent des stratégies plus coûteuses, qui sont également celles qui s'avèrent être les plus efficaces.

1.1.3. Vieillessement et exécution stratégique

Même lorsque les participants jeunes et âgés utilisent le même nombre de stratégies et dans les mêmes proportions, des travaux ont fait apparaître que le vieillissement s'accompagne d'une modification dans la manière d'exécuter les différentes stratégies (e.g., Gandini, Lemaire, & Dufau, 2008; Lemaire & Lecacheur, 2001). Les adultes âgés sont plus lents et commettent plus d'erreurs que les adultes jeunes lors de l'exécution stratégique. Ces effets de l'âge peuvent être modulés par des facteurs qui affectent la mise en œuvre des stratégies comme les caractéristiques

des problèmes et des situations. De plus, il semble que les différences liées à l'âge soient d'autant plus prononcées que la stratégie exécutée est difficile et/ou que le problème à résoudre est complexe, ou bien encore lorsque la situation dans laquelle la tâche est accomplie impose des contraintes importantes. Dans le domaine de la mémoire, plusieurs études ont permis d'observer que les adultes âgés exécutaient moins efficacement les stratégies mnésiques que les jeunes (e.g., Dunlosky & Hertzog, 1998; Froger, Bouazzaoui, Isingrini, & Taconnat, 2012; Taconnat et al., 2009). Par exemple, Froger et al. (2012) ont montré que les adultes âgés exécutaient moins efficacement la stratégie d'imagerie mentale que les adultes jeunes, alors que cette stratégie est la plus efficace pour apprendre des mots concrets (voir aussi Tournier & Postal, 2011).

1.1.4. Vieillesse et sélection stratégique

Dans le cas où le vieillissement ne s'accompagnerait pas de modifications du répertoire, de la distribution et de l'exécution stratégiques, les participants jeunes et âgés peuvent différer au niveau des mécanismes de sélection stratégique. Dans de nombreuses études, les données rapportées suggèrent que l'efficacité des mécanismes de sélection diminue au cours du vieillissement (e.g., Arnaud, Lemaire, Allen, & Michel, 2008; Duverne, Lemaire, & Michel, 2003; Hodzik & Lemaire, 2011; Lemaire, Arnaud, & Lecacheur, 2004; Taconnat et al., 2009). Les adultes âgés ne parviennent pas aussi bien que les adultes jeunes à calibrer leurs choix stratégiques en fonction des contraintes de la tâche et par conséquent, ils sélectionnent moins fréquemment la stratégie la plus adaptée sur chaque item. Par exemple, Lemaire et al. (2004) ont demandé à des adultes jeunes et âgés d'effectuer une tâche d'estimation calculatoire (i.e., arrondir des multiplications de deux nombres à deux chiffres, 32×46). Sur chaque essai, les participants devaient choisir la meilleure stratégie (i.e., celle qui fournit l'estimation la plus proche du résultat

exact) parmi la stratégie d'arrondi aux dizaines inférieures (e.g. 30 x 40) et la stratégie d'arrondi aux dizaines supérieures (e.g., 40 x 50). Les résultats ont montré que les âgés sélectionnaient moins fréquemment la meilleure stratégie sur chaque problème par rapport aux jeunes (57% et 65% respectivement pour les âgés et les jeunes).

1.2. Rôle des fonctions exécutives dans les variations stratégiques

De manière générale, les recherches menées sur les variations stratégiques au cours du vieillissement révèlent que, comparativement aux adultes jeunes, les adultes âgés utilisent moins de stratégies, ont des préférences stratégiques différentes et sont moins efficaces pour sélectionner et exécuter les différentes stratégies.

Jusqu'à récemment, les mécanismes généraux sous-tendant l'évolution avec l'âge des variations stratégiques étaient peu connus. Plusieurs recherches se sont intéressées à ces mécanismes généraux et ont montré que les FE occupaient une place centrale. Les FE font référence à l'ensemble des processus permettant d'ajuster notre comportement dans des situations complexes (voir Diamond, 2013, pour une revue). Depuis les travaux Miyake et al. (2000), on distingue trois FE spécifiques. *L'inhibition* permet de ne pas fournir une réponse automatiquement activée ou d'éviter le traitement de stimuli non pertinents lorsque cela n'est pas approprié. *La flexibilité cognitive* permet d'alterner entre différents concepts ou représentations. Enfin, *la mémoire de travail* permet de maintenir des informations pertinentes et de remplacer ces informations par de nouvelles, lorsqu'elles ne sont plus appropriées. L'évolution de l'efficacité des FE au cours du vieillissement serait un facteur majeur des changements de performances cognitives qui surviennent avec l'âge (e.g., Collette & Salmon, 2014; West, 1996). Par conséquent, des études récentes ont testé l'hypothèse selon laquelle le déclin avec l'âge des

FES médiatiserait l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement (voir Hinault & Lemaire, 2016; Tacconnat & Lemaire, 2013, pour des revues). Nous décrivons ici les résultats issus d'études corrélationnelles et expérimentales menées dans le domaine de la résolution de problèmes arithmétiques qui suggèrent une forte implication des FEs dans l'évolution avec l'âge des variations stratégiques.

1.2.1. Les études corrélationnelles

En 2011, Hodzik & Lemaire ont étudié l'évolution avec l'âge du répertoire stratégique dans une tâche d'arithmétique. Pour cela, ils ont demandé à des participants jeunes et âgés de résoudre des additions de deux nombres à deux chiffres (e.g., $41 + 87$). Grâce au recueil du type de stratégie utilisée par les individus sur chaque problème, les auteurs ont pu établir que les deux groupes d'âge utilisaient le même ensemble de neuf stratégies. Toutefois, le nombre moyen de stratégies utilisées par individu était réduit chez les adultes âgés (2.1 stratégies) par rapport aux adultes jeunes (3.0 stratégies). Ainsi, les deux groupes de participants connaissent les mêmes stratégies, mais le répertoire de stratégies mobilisées diminue avec le vieillissement (voir (Ardiale, Hodzik, & Lemaire, 2012; Duverne, Lemaire, & Vandierendonck, 2008; Lemaire & Arnaud, 2008; Yagoubi, Lemaire, & Besson, 2005, pour des résultats similaires). Par ailleurs, les auteurs ont voulu déterminer si le déclin avec l'âge des FEs pouvait expliquer cette réduction du répertoire stratégique au cours du vieillissement. Ils ont donc évalué la flexibilité cognitive (par le Trail Making Test) et les capacités d'inhibition (par le test de Stroop) et ont montré que 91% de la variance liée à l'âge dans le nombre de stratégies utilisées était expliquée par un déclin de la flexibilité et de l'inhibition (combinées). Ces résultats suggèrent que les FEs seraient impliquées lors de la résolution de problèmes arithmétiques et que la réduction du répertoire stratégique

serait liée à la diminution de l'efficacité de ces processus. Les adultes âgés auraient plus de difficulté à inhiber les stratégies les moins appropriées et à alterner entre les différentes stratégies, ce qui les conduirait à restreindre le nombre de stratégies maintenues actives afin de diminuer la sollicitation de ces processus.

Dans une seconde expérience, Hodzic et Lemaire (2011) ont montré que les FEs pouvaient également médier l'évolution avec l'âge de la sélection stratégique. Pour cela, ils ont demandé aux participants d'estimer le produit de multiplications de deux nombres à deux chiffres (e.g., 43×59) avec la meilleure stratégie (i.e., celle qui permettait d'obtenir l'estimation la plus proche du résultat exact). Par exemple, pour estimer une multiplication comme 43×59 , ils pouvaient choisir entre la stratégie d'arrondi aux dizaines inférieures (e.g., faire $40 \times 50 = 2000$) et la stratégie d'arrondi aux dizaines supérieures (e.g., faire $50 \times 60 = 3000$). Les problèmes ont été choisis de sorte que la stratégie d'arrondi inférieur soit la meilleure pour la moitié des problèmes (e.g., 31×63) et la stratégie d'arrondi supérieur la meilleure pour l'autre moitié des problèmes (e.g., 76×89). Les données ont montré que les adultes âgés sélectionnaient moins fréquemment la meilleure stratégie que les adultes jeunes. Par ailleurs, 39% de la variance liée à l'âge dans le pourcentage de sélection de la meilleure stratégie était expliquée par la combinaison des capacités d'inhibition et de flexibilité (respectivement évaluées par le Trail Making Test et le test de Stroop). Cependant, à la différence du répertoire stratégique, l'âge avait encore un effet significatif après le contrôle statistique des FEs, suggérant l'implication d'autres facteurs qui contribueraient à l'effet du vieillissement sur la sélection stratégique.

Ainsi, il semblerait que le déclin des FEs ne médie pas l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement de la même manière selon la dimension stratégique étudiée.

1.2.2. Les études expérimentales

Des recherches antérieures ont montré que certains facteurs pouvaient influencer la sollicitation des FEs. Le principe des recherches expérimentales est de manipuler ces facteurs pour créer des effets expérimentaux permettant de faire varier la demande en ressources exécutives. Les transitions stratégiques d'un essai à l'autre (ou effet de séquence) font partie de ces facteurs et leur manipulation a permis de mettre en évidence des modulations séquentielles de l'exécution et de la sélection stratégiques. Nous détaillons ici cinq effets expérimentaux et leur évolution avec l'âge : les effets de coûts de changements stratégiques intra- et inter-items, de persévérations stratégiques, de difficultés séquentielles stratégiques et d'interférences stratégiques.

1.2.2.1. L'effet de changement stratégique inter-item

Lemaire et Lecacheur (2010) ont demandé à des participants d'effectuer une tâche d'estimation calculatoire (e.g., 34×79). Pour chaque multiplication, les participants devaient exécuter la stratégie indiquée (e.g., si au dessus du problème 34×79 apparaissait « arrondi inférieur », le participant devait faire 30×70 et donner 2100 comme réponse). Deux conditions étaient testées. Dans la condition « stratégie répétée », ils devaient exécuter la même stratégie sur deux problèmes successifs alors que dans la condition « stratégie changée », ils devaient exécuter deux stratégies différentes. Les résultats ont montré que les participants étaient plus rapides et plus efficaces lorsque la stratégie indiquée était répétée sur deux problèmes successifs que lorsqu'ils devaient changer de stratégie (voir aussi Lemaire & Brun, 2014). Par conséquent, dans la condition « stratégie changée », il semblerait qu'après l'exécution d'une stratégie sur un problème, les participants doivent d'abord inhiber cette stratégie pour être en mesure d'activer et d'utiliser une autre stratégie sur le problème suivant. Plus récemment encore, Ardiale et al.

(2012) ont montré que ces coûts de changements stratégiques étaient comparables entre les adultes jeunes et âgés lorsqu'ils devaient alterner entre deux stratégies alors que lorsqu'ils devaient alterner entre trois stratégies, une augmentation de ces coûts de changements stratégiques apparaissait chez les adultes âgés. Ces résultats suggèrent une diminution avec l'âge des capacités à inhiber la stratégie qui vient juste d'être exécutée, conduisant ainsi les adultes âgés à répéter cette même stratégie.

1.2.2.2. L'effet de changement stratégique intra-item

Les travaux d'Ardiale et al. (2012; voir aussi Ardiale & Lemaire, 2012, 2013) ont permis de mettre en évidence qu'une stratégie en cours d'exécution pouvait être interrompue dans le but d'exécuter une meilleure stratégie, entraînant ainsi des coûts de changements stratégiques intra-items différents selon l'âge des participants. Les auteurs ont demandé à des participants jeunes et âgés de réaliser une tâche d'estimation calculatoire. Ils devaient estimer le produit de multiplications (e.g., 41 x 56) à l'aide d'une stratégie indiquée (i.e., arrondir inférieur ou supérieur) pendant une seconde et avaient ensuite la possibilité de continuer à exécuter la stratégie indiquée ou de changer de stratégie, s'ils estimaient que la stratégie indiquée n'était pas la meilleure. La consigne étant d'utiliser la meilleure stratégie le plus souvent possible. Les résultats ont montré que les adultes âgés avaient tendance à poursuivre l'exécution de la stratégie indiquée plus fréquemment que les adultes jeunes, même lorsque celle-ci n'était pas la meilleure. La diminution avec l'âge des FEs permet là encore d'expliquer ces coûts de changements stratégiques. En effet, la mobilisation de ressources exécutives permet d'inhiber la stratégie en cours d'exécution afin de pouvoir activer une stratégie plus appropriée (voir aussi Lemaire & Lecacheur, 2010; Taillan, Ardiale, & Lemaire, 2015). Le déclin de ces processus inhibiteurs avec l'âge, conduit ainsi les

adultes âgés à poursuivre l'exécution de la stratégie indiquée, même lorsque cette dernière n'est pas la plus appropriée.

1.2.2.3. L'effet de persévérations stratégiques

Dans une autre étude, (Lemaire & Leclère, 2014a, 2014b) ont étudié l'évolution avec l'âge du phénomène de persévération stratégique. Cet effet fait référence à une tendance plus importante à répéter la même stratégie d'un essai à l'autre. Pour cela, les auteurs ont demandé à des participants jeunes et âgés d'estimer le produit de multiplications de deux nombres à deux chiffres. Des essais comprenant trois problèmes successifs leur étaient présentés. Ils devaient pour chaque problème estimer le produit de chaque multiplication avec la meilleure des deux stratégies proposées (i.e., arrondi inférieur ou supérieur). Deux conditions étaient testées : la condition une amorce et la condition deux amorces. Pour les problèmes amorces, la sélection de la meilleure stratégie était facile (e.g., 41 x 62 ; 59 x 78). En revanche, la sélection de la meilleure stratégie était plus difficile pour les problèmes cibles (e.g., 56 x 34). En analysant le pourcentage de sélection de la meilleure stratégie sur le problème cible, les auteurs ont montré que lorsque ce problème cible était précédé d'un seul problème amorce, le pourcentage de répétition stratégique entre les adultes jeunes et âgés était similaire. Cependant, lorsque le problème cible était précédé de deux problèmes amorces (i.e., les participants venaient d'exécuter la même stratégie deux fois de suite), les résultats montrent que les adultes âgés répétaient davantage la même stratégie (76%) d'un problème à l'autre, comparés aux adultes jeunes (69%). Le changement de stratégie d'un problème à l'autre requiert d'inhiber la stratégie qui vient tout juste d'être exécutée, de réactiver le répertoire de stratégies pour la tâche en cours, de choisir la meilleure stratégie parmi les stratégies disponibles et d'exécuter la stratégie sélectionnée. Par conséquent, la diminution avec

l'âge de l'efficacité des processus inhibiteurs rendrait plus difficile la mise en œuvre de ces opérations chez les adultes âgés, conduisant ainsi à une persévération stratégique.

1.2.2.4. L'effet de difficulté séquentielle stratégique

Outre les effets de persévération ou de changement de stratégie, un autre effet expérimental renforce l'hypothèse d'une implication des FEs dans les variations stratégiques liées à l'âge. Il s'agit de l'effet de difficulté séquentielle stratégique mis en évidence par Uittenhove et Lemaire (2012). Cet effet reflète une augmentation du temps d'exécution stratégique sur le problème en cours, lorsque la stratégie exécutée sur le problème précédent est difficile comparée à l'exécution d'une stratégie facile (Uittenhove & Lemaire, 2012, 2013a, 2013b; Uittenhove, Poletti, Dufau, & Lemaire, 2013). Dans une tâche d'estimation calculatoire d'additions de deux nombres à deux chiffres (e.g., $23 + 59$), les auteurs ont comparé les temps d'exécution de la stratégie d'arrondi mixte (i.e., arrondir le premier opérande à la dizaine inférieure et l'autre à la dizaine supérieure ; e.g., faire $20 + 60 = 80$ pour estimer $23 + 59$) après que les participants aient exécuté la stratégie d'arrondi inférieur versus la stratégie d'arrondi supérieur sur le problème précédent. Les résultats montrent que les participants mettaient plus de temps pour exécuter la stratégie d'arrondi mixte après avoir exécuté la stratégie d'arrondi supérieur qu'après l'exécution de la stratégie d'arrondi inférieur. Cependant, la taille de cet effet de difficulté séquentielle était comparable entre les adultes jeunes et âgés (Uittenhove & Lemaire, 2013a). De plus, il a également été montré que la taille de cet effet de difficulté séquentielle stratégique corrélait négativement avec les capacités de mémoire de travail ($r = -.31$; Uittenhove & Lemaire, 2013b). Les auteurs ont interprété cet effet en proposant qu'après avoir exécuté la stratégie difficile (i.e., arrondi supérieur), qui consomme plus de ressources en mémoire de travail, moins de ces ressources seraient disponibles pour l'exécution de la stratégie suivante. L'interférence créée par

la stratégie qui vient tout juste d'être exécutée ne semble cependant pas affecter plus les adultes âgés que les adultes jeunes, sauf chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer (Uittenhove & Lemaire, 2013a). La diminution des ressources en mémoire de travail après l'exécution de la stratégie difficile ne semblait pas excéder les ressources disponibles chez les adultes âgés.

1.2.2.5. L'effet d'interférence stratégique et ses modulations séquentielles

Récemment découvert, l'effet d'interférence stratégique (EIS) et les modulations séquentielles de cet effet (Hinault, Dufau, & Lemaire, 2014, 2015; Lemaire & Hinault, 2014) suggèrent une implication des FEs dans l'évolution avec l'âge des variations stratégiques. L'EIS fait référence à une augmentation des temps de réponse et du pourcentage d'erreurs lorsque les participants doivent exécuter une stratégie qui n'est pas la meilleure (i.e., qui ne donne pas l'estimation la plus proche du résultat exact dans une tâche d'estimation calculatoire) comparée à une situation pour laquelle la meilleure stratégie devait être exécutée (Ardiale et al., 2012; Hinault et al., 2014, 2015; Lemaire & Hinault, 2014). De plus, les EIS augmentent avec l'âge (Ardiale et al., 2012; Lemaire, Arnaud, & Lecacheur, 2004; Lemaire & Hinault, 2014).

Dans une étude de 2014, Lemaire & Hinault ont montré que l'EIS sur un problème donné était séquentiellement modulé en fonction de la stratégie exécutée sur le problème précédent. En effet, l'EIS était moins important après l'exécution d'une stratégie moins adaptée qu'après l'exécution de la meilleure stratégie sur le problème précédent. Les auteurs ont interprété ce résultat comme reflétant le maintien d'un haut niveau de contrôle après l'exécution d'une stratégie moins adaptée d'un essai à l'autre. En revanche, les processus inhibiteurs seraient moins activés (ou pas sollicités) après l'exécution de la meilleure stratégie, conduisant à une augmentation de l'EIS sur le problème suivant. Plus intéressant encore, Lemaire et Hinault ont observé un déclin de la modulation séquentielle de l'EIS au cours du vieillissement. En effet,

contrairement aux adultes jeunes, une augmentation l'EIS a été observée après l'exécution de la stratégie la moins adaptée chez les adultes âgés. Ce résultat a été interprété par les auteurs comme un effet de difficulté séquentielle stratégique. Avec moins de ressources disponibles, les adultes âgés ne seraient pas capables de se préparer à traiter l'interférence stratégique après l'exécution d'une stratégie moins adaptée, car cette dernière aurait consommé la majorité de ces ressources. Néanmoins, d'importantes différences inter-individuelles concernant les modulations séquentielles de l'EIS au niveau du groupe des adultes âgés ont également été mises en évidence par Lemaire et Hinault. Plus précisément, un groupe d'adultes âgés montrait un pattern similaire à celui des adultes jeunes, alors que l'autre groupe d'âgés avait un pattern totalement inversé. Curieusement, il s'avère que le premier groupe d'âgés présentait des effets séquentiels de congruence plus faible dans la tâche de Simon (i.e., une tâche de conflit sollicitant les capacités d'inhibition), tandis que le second groupe regroupait les participants âgés avec des effets séquentiels de congruence plus importants. En d'autres termes, le groupe qui présentait des modulations séquentielles de l'EIS était qualifié de « haut contrôle » alors que le groupe qui présentait des effets inverses était qualifié de « bas contrôle ». Ainsi, ces résultats suggèrent que les adultes âgés « haut contrôle », comme les adultes jeunes étaient capables de mobiliser les FEs de manière efficiente pour maintenir leurs performances.

En résumé, la perspective stratégique a permis de faire progresser nos connaissances sur les déterminants des performances dans de nombreuses tâches cognitives, en décrivant en termes de mécanismes, la manière dont les individus réalisent une tâche cognitive. Les données issues des études corrélationnelles et expérimentales suggèrent une forte implication des FEs dans les variations stratégiques observées au cours du vieillissement.

2. Variations qualitatives au cours du vieillissement sensori-moteur

Nous avons pu voir dans le Chapitre 1 que de nombreuses études chronométriques se sont principalement intéressées à l'étude du déclin des mécanismes de contrôle moteur (i.e., sélection, programmation et exécution). Outre la quantification des effets du vieillissement sur ces mécanismes de contrôle à travers des mesures générales de latences (TR et TM), plusieurs études se sont intéressées aux changements avec l'âge des caractéristiques spatio-temporelles du mouvement au cours de son exécution. Pour étudier ces caractéristiques spatio-temporelles, il importe de s'intéresser à la cinématique du mouvement. Les analyses cinématiques consistent à calculer les profils de vitesse (dérivée première), d'accélération (dérivée seconde) et de Jerk (dérivée troisième), dérivés des données de position. Dans les tâches de pointage de Fitts, les analyses cinématiques ont permis de mettre en évidence l'existence de deux types de processus sensori-moteurs. Ces processus ont été identifiés à partir de la décomposition du mouvement en deux phases, en prenant le pic de vitesse comme instant de division (Huys, Fernandez, Bootsma, & Jirsa, 2010; Ketcham et al., 2002; Rey-Robert et al., 2012; Sleimen-Malkoun et al., 2012). La durée de la phase d'accélération (ou temps d'accélération, TA), qui correspond au temps entre le début du mouvement et le pic de vitesse, résulte d'un processus opérant en boucle ouverte et reflète la programmation central de la force d'impulsion. La durée de la phase de décélération (ou temps de décélération, TD), qui commence au niveau du pic de vitesse et se termine à la fin du mouvement, résulte de l'adaptation en temps réel des commandes centrales sur la base du traitement des feedbacks provenant des différents types d'informations sensorielles.

Des études récentes, qui utilisent la tâche de Fitts, montrent que la manipulation de la difficulté de la tâche (ID) (via la distance à parcourir ou via la taille de la cible) n'affecte pas les différentes portions du mouvement de la même manière. En effet, lorsqu'on augmente

l'amplitude de la distance à parcourir (ID_D), les participants allongent à la fois TA et TD, alors que seul TD est allongé lorsque la taille de la cible (ID_W) est manipulée (e.g., Rey-Robert et al., 2012; Temprado et al., 2013). De plus, Temprado et al. (2013) ont mis en évidence qu'avec l'âge, l'augmentation de l' ID_D se traduit par un ralentissement multiplicatif des deux phases TA et TD (i.e., les coefficients de pente des adultes jeunes et âgés étaient significativement différents) alors que, l'augmentation de l' ID_W révèle un ralentissement additif de TA (i.e., les coefficients de pente des adultes jeunes et âgés n'étaient significativement pas différents) et un ralentissement multiplicatif de TD. Dans d'autres études, il apparaît également que les adultes âgés ont un pic de vitesse plus faible que les adultes jeunes. Ces derniers atteindraient des vitesses de l'ordre de 45% à 70% supérieures aux des adultes âgés (Goggin & Meeuwsen, 1992; Ketcham et al., 2002; Ketcham & Stelmach, 2001; J H Yan et al., 2000).

Enfin, sur la base des travaux de Woodworth (1899), d'autres auteurs ont proposé de diviser le mouvement en une phase d'impulsion (caractérisée par un mouvement rapide permettant au membre de se rapprocher de la cible et comprenant la phase d'accélération et une partie de la phase de décélération) et une phase de contrôle en ligne (au cours de laquelle la cible est approchée et comprenant une partie seulement de la phase de décélération). A cet égard, de nombreux modèles ont été proposés dans la littérature (voir Elliott et al., 2010; Elliott, Helsen, & Chua, 2001, pour des revues). Le plus influent est le modèle développé par Meyer et al. (1988) qui propose de diviser le mouvement en deux sous-mouvements. Le premier sous-mouvement (ou sous-mouvement primaire) représente la partie balistique ou programmée du mouvement alors que le second sous-mouvement (ou sous-mouvement secondaire) correspond à la partie corrective du mouvement et est contrôlé par un feed-back sensoriel. Le sous-mouvement primaire se termine au moment où l'un des événements suivants se produit, juste après que la vitesse ait atteint son pic : (a) la vitesse (dérivée première de la position) franchit zéro et devient négative,

(b) l'accélération (dérivée seconde de la position) franchit zéro et devient positive, (c) le Jerk (dérivée troisième de la position) franchit zéro et devient négatif.

Plus récemment, sur la base du modèle de Meyer et collaborateurs, Dounskaia et al. (2005) ont proposé une distinction supplémentaire afin de préciser la cinématique du mouvement au cours d'une tâche de pointage. Cette distinction concerne la présence de trois types de sous-mouvements différents (i.e., Type 1, Type 2 et Type 3) qui peuvent être identifiés dans la deuxième portion du mouvement. Le sous-movement de Type 1 est utilisé pour corriger une surestimation de la distance de la cible, le sous-movement de Type 2 pour corriger une sous-estimation de la distance de la cible et le sous-movement de Type 3 correspond à des micro-corrections impliquées dans la phase de décélération progressive et permet de s'arrêter dans la cible. Chaque type de sous-movement possède une signature cinématique spécifique (voir Figure 1).

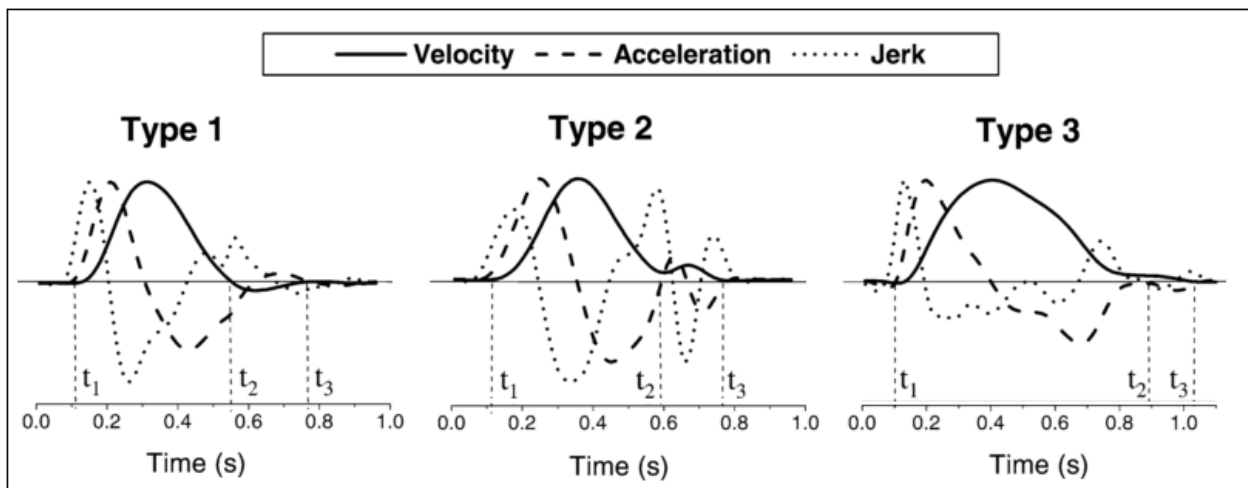


Figure 1. Exemples de profils cinématiques obtenus à partir de mouvements de pointage discrets impliquant un sous-movement de Type 1 (à gauche), de Type 2 (au milieu) ou de Type 3 (à droite). Le trait plein représente le profil de vitesse, les tirets le profil d'accélération et les pointillés le profil de Jerk. Les différents moments de temps (t_1 , t_2 et t_3) correspondent respectivement au début du mouvement, à la fin du sous-movement primaire et à la fin du mouvement total (adapté d'après Dounskaia, Wisleder, & Johnson., 2005).

Il est admis que ces sous-mouvements secondaires font partie des processus de correction du mouvement, assurant ainsi une précision spatiale au détriment cependant d'un ralentissement de la vitesse d'exécution (Elliott et al., 2004; Fradet et al., 2008a; Lyons et al., 2006). Des études menées dans les tâches de pointage montrent que la diminution de la taille de la cible entraîne un raccourcissement de la phase d'impulsion et une augmentation de la production de sous-mouvements secondaires de correction (Dounskaia et al., 2005; Ketcham et al., 2002; Meyer et al., 1988). Il apparaît également que, comparativement aux adultes jeunes, la production de ces sous-mouvements secondaires augmenterait chez les adultes âgés (Fradet, Lee, & Dounskaia, 2008b; Ketcham et al., 2002; Pratt, Chasteen, & Abrams, 1994; J H Yan et al., 2000; J H Yan, 2000), probablement en raison de l'augmentation avec l'âge du bruit neural, de la diminution de la force musculaire et de l'altération de l'efficacité du traitement sensoriel en feed-back.

Chapitre 3

Synthèse et Objectifs

Comme nous avons pu le voir dans les chapitres précédents, les recherches sur le vieillissement ont pour objectif de comprendre comment évoluent les performances cognitives et sensori-motrices et quels sont les mécanismes responsables de cette évolution. Même si le vieillissement cognitif et sensori-moteur sont généralement étudiés séparément, les travaux menés au cours des trois ou quatre dernières décennies ont permis de décrire avec précision le déclin avec l'âge des performances cognitives et sensori-motrices. Par ailleurs, les études récentes ont porté un intérêt particulier à l'étude de la dynamique des interactions dans le fonctionnement cognitif et sensori-moteur au cours du vieillissement. D'une manière générale, il apparaît que les relations entre cognition et sensori-motricité sont de plus en plus fortes avec l'avancée en âge (Li & Lindenberger, 2002; Schaefer & Schumacher, 2010; Schäfer et al., 2006). L'hypothèse d'une cause commune a été proposée pour expliquer le déclin avec l'âge des performances cognitives et sensori-motrices (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). Dans cette perspective, des études quantitatives ont suggéré que la diminution avec l'âge des capacités de traitement de l'information pourrait être l'une des causes communes possibles au ralentissement cognitif et sensori-moteur (e.g., Sleimen-Malkoun et al., 2013). Cependant, ces études ne tiennent pas compte des éventuels changements qualitatifs pouvant survenir au cours du vieillissement. En effet, de nombreuses études menées dans différents domaines cognitifs ont montré que l'approche stratégique permettait de faire progresser nos connaissances quant à l'évolution des performances cognitives au cours du vieillissement. Grâce au cadre conceptuel de (Lemaire & Siegler, 1995), il a été montré que les effets du vieillissement

observés dans les tâches cognitives pouvaient être caractérisés, par l'utilisation de différentes stratégies selon l'âge des participants. Ainsi, de manière générale, il a été mis en évidence que les adultes âgés utilisent moins de stratégies que les adultes jeunes, ont des préférences stratégiques différentes et sont moins efficaces pour sélectionner et exécuter les différentes stratégies. D'autres recherches se sont intéressées aux mécanismes généraux sous-tendant l'évolution avec l'âge de ces performances stratégiques. Ces études ont notamment permis de montrer que parmi les mécanismes généraux, les FEs jouaient un rôle important dans l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement. Les FEs étant largement impliquées dans certaines tâches sensori-motrices complexes telles que les tâches de pointage, la question se pose alors de savoir si ces FEs pourraient être le médiateur commun de variations stratégiques dans les tâches cognitives et sensori-motrices.

L'une des premières études qui s'est intéressée à l'utilisation de différentes stratégies motrices a été menée par Horak & Nashner (1986). Dans une tâche de contrôle postural, les auteurs ont montré qu'il existait trois stratégies différentes permettant de maintenir l'équilibre lors d'une perturbation : la stratégie de hanche, la stratégie de cheville ou la stratégie de pas. Ainsi, bien que certaines études montrent que différentes stratégies peuvent être utilisées pour réaliser des tâches sensori-motrices (e.g., Bennett et al., 2012; Dounskaia et al., 2005; Elliott et al., 2004; Fradet et al., 2008a; Ketcham et al., 2002; Lyons et al., 2006), un cadre conceptuel n'a jamais été formalisé.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est double. Nous souhaitons d'une part, **décrire les variations stratégiques liées à l'âge dans le domaine sensori-moteur** et d'autre part, **déterminer les caractéristiques communes aux variations stratégiques observées dans les domaines cognitif et sensori-moteur.**

Dans **l'Expérience 1**, nous avons d'abord voulu déterminer si les variations stratégiques observées dans plusieurs domaines cognitifs pouvaient se généraliser au domaine sensori-moteur. Le but était d'approfondir notre compréhension des processus qui sous-tendent les changements de performances dans une tâche sensori-motrice (la tâche de pointage de Fitts), ainsi que leur évolution au cours du vieillissement. Nous avons donc utilisé le cadre conceptuel proposé par Lemaire et Siegler (1995) et testé dans plusieurs domaines cognitifs afin d'étudier les changements liés à l'âge dans les différentes dimensions stratégiques.

Des études récentes menées dans le domaine de la résolution de problèmes suggèrent que le déclin avec l'âge des fonctions exécutives (FEs) médiatiserait l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement. Les FEs étant fortement impliquées dans les tâches sensori-motrices complexes telles que les tâches de pointage, nous avons étudié dans **l'Expérience 2** les effets de séquence afin de tester le rôle des FEs dans l'évolution avec l'âge des variations stratégiques dans les tâches sensori-motrices.

Dans **l'Expérience 3**, nous avons examiné l'évolution avec l'âge des variations stratégiques chez le même groupe d'individus effectuant une tâche cognitive (tâche de résolution de problèmes arithmétiques) et une tâche sensori-motrice (tâche de Fitts). Le but était de déterminer les mécanismes généraux et les mécanismes spécifiques influençant les variations stratégiques au cours du vieillissement.

Dans **l'Expérience 4**, nous avons étudié les variations stratégiques observées dans les tâches sensori-motrices au cours du vieillissement pathologique. En effet, la VTI et les FEs étant fortement diminuée chez les patients présentant des troubles cognitifs, nous avons voulu tester l'hypothèse selon laquelle les variations stratégiques observées au cours du vieillissement normal seraient amplifiées au cours du vieillissement pathologique.

Enfin, dans **l'Expérience 5**, nous avons proposé un programme d'entraînement à la tâche de Fitts à des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers. Le but était de tester l'effet de l'entraînement sur les variations stratégiques.

∞

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Expérience 1

Vieillessement et variations stratégiques dans la tâche de Fitts

L'objectif général de cette expérience était de déterminer si les variations stratégiques observées dans plusieurs domaines cognitifs pouvaient se généraliser au domaine sensori-moteur. A l'heure actuelle, très peu d'études se sont intéressées à l'utilisation stratégique dans les tâches sensori-motrices (e.g., Bennett et al., 2012; Dounskaia et al., 2005; Elliott, Hansen, & Grierson, 2009; Elliott et al., 2004; Fradet et al., 2008a; Ketcham et al., 2002; Lyons et al., 2006). De plus, ces études n'ont pas étudié systématiquement les changements liés à l'âge dans le répertoire, la distribution, l'exécution et la sélection stratégiques. Or, les recherches précédentes sur le vieillissement cognitif montrent des différences entre les performances des adultes jeunes et âgés dans les différentes dimensions stratégiques (voir Lemaire, 2010; 2016, pour des revues). Ainsi, dans de nombreux domaines cognitifs, il apparaît que les adultes âgés utilisent moins de stratégies, ont des préférences stratégiques différentes et sont moins efficaces pour sélectionner et exécuter les différentes stratégies que les adultes jeunes. On ignore si ces variations stratégiques liées à l'âge peuvent être observées dans le domaine sensori-moteur. Le but de cette première étude était donc d'étudier l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement dans une tâche de pointage de Fitts. Cette tâche a été utilisée car les mécanismes de contrôle sollicités pour effectuer des mouvements de pointage sont représentatifs des mécanismes utilisés dans les différentes tâches motrices (e.g., marche, posture).

Neuf adultes jeunes et onze adultes âgés ont été testés. La tâche consistait à effectuer des mouvements de pointage depuis une position de départ vers une cible en faisant glisser un stylet sur une tablette graphique. Quatre niveaux de difficulté (ID) différents ont été utilisés (i.e., 3.5 ; 4.5 ; 5.5 et 6.5 bits), résultant soit de la manipulation de la largeur de la cible (ID_W) soit de la manipulation de la distance entre la position de départ et la cible (ID_D). Lorsque W variait (i.e., 4.8 ; 2.4 ; 1.2 ou 0.6 cm), D restait constante (27 cm) alors que lorsque D variait (i.e., 4.0 ; 7.9 ; 15.8 ou 31.7 cm), W était maintenue constante (0.7 cm). Les mouvements enregistrés par la tablette ont ainsi permis de calculer les profils de vitesse (dérivée première), d'accélération (dérivée seconde) et de Jerk (dérivée troisième), dérivés des données de position ainsi que le temps de mouvement (TM ; correspondant au temps permettant d'atteindre la cible) et le temps de décélération (TD ; correspondant au temps entre le pic de vitesse et la fin du mouvement). Puis, grâce à l'analyse de la cinématique chaque mouvement a été divisé en deux sous-mouvements différents. Le premier sous-mouvement (ou sous-mouvement primaire), représentait la partie balistique ou programmée du mouvement et le second sous-mouvement (ou sous-mouvement secondaire), correspondait à la partie corrective du mouvement et était contrôlé par un feed-back sensoriel. En utilisant la distinction faite par Dounskaia et al. (2005), trois sous-mouvements différents ont été identifiés (Type 1, Type 2 et Type 3). Ces sous-mouvements ont ensuite été utilisés pour distinguer les différentes stratégies disponibles pour réaliser la tâche. Le sous-mouvement de Type 1, identifié sur le profil de vitesse, correspondait à la stratégie « **overshoot** » (i.e., les participants surestimaient la distance de la cible et effectuaient un sous-mouvement de correction dans la direction inverse pour l'atteindre). Le sous-mouvement de Type 2, identifié sur le profil d'accélération, correspondait à la stratégie « **undershoot** » (i.e., les participants sous-estimaient la distance de la cible et effectuaient un sous-mouvement de correction - une réaccélération - pour l'atteindre). Le sous-mouvement de Type 3, identifié sur le

profil de Jerk, correspondait à la stratégie « **progressive-deceleration** » (i.e., les participants réalisaient un premier mouvement permettant de rapprocher leur bras de la cible, puis ils s'approchaient lentement de la cible avec des micro-corrections, augmentant ainsi la phase de décélération). Enfin, si la fin du sous-mouvement primaire coïncidait avec la fin du mouvement total (i.e., absence de sous-mouvement secondaire), cela correspondait à la stratégie « **one-shot** ».

Avant d'analyser les variations stratégiques dans la tâche de Fitts, nous nous étions assurés de répliquer les résultats des études précédentes (e.g., Temprado et al., 2013) concernant les performances et les effets d'âge associés. Ainsi, quel que soit le type de manipulation (ID_D et ID_W), les adultes âgés étaient plus lents que les adultes jeunes. De plus, l'analyse des fonctions d'efficacité (i.e., TM et TD en fonction de l'ID) indiquait une variation de la pente de la loi de Fitts plus importante pour l' ID_D que pour l' ID_W . De manière intéressante, nos résultats ont également montré des différences liées à l'âge dans l'utilisation des stratégies sensori-motrices.

Concernant le répertoire stratégique, nous avons observé que les adultes jeunes et âgés utilisaient les quatre stratégies disponibles pour atteindre la cible. De plus, les âgés utilisaient moins de stratégies que les adultes jeunes (2.0 et 2.3 stratégies, respectivement). Concernant la distribution stratégique, les analyses ont montré que la fréquence d'utilisation des quatre stratégies variait en fonction de l'âge des participants. Les adultes âgés utilisaient majoritairement des stratégies comprenant des sous-mouvements (i.e., undershoot et progressive-deceleration) alors que les jeunes préféraient la stratégie sans sous-mouvement (i.e., one-shot). Les effets de l'âge sur la distribution stratégique étaient également modulés par le type de manipulation (D ou W) et par la difficulté de la tâche (facile ou difficile). Ainsi, alors que chez les adultes jeunes utilisaient majoritairement la stratégie one-shot quel que soit le type de manipulation, les adultes âgés utilisaient préférentiellement la stratégie progressive-deceleration lorsque la taille de la cible variait. Ils utilisaient autant les stratégies progressive-deceleration et undershoot lorsque la

distance de la cible variait. A l'inverse alors que les adultes âgés utilisaient majoritairement les stratégies progressive-deceleration et undershoot quel que soit la difficulté de la tâche, les adultes jeunes utilisaient préférentiellement la stratégie one-shot lorsque la tâche était facile alors qu'ils utilisaient la stratégie progressive-deceleration lorsqu'elle était difficile. Enfin, concernant l'exécution stratégique, les résultats ont montré que les participants étaient plus rapides pour exécuter la stratégie one-shot que la stratégie progressive-deceleration et encore plus lents pour exécuter la stratégie undershoot. De cette manière, nous avons considéré la stratégie undershoot comme étant la stratégie la plus difficile, la stratégie progressive-deceleration étant de difficulté intermédiaire et la stratégie one-shot comme étant la plus facile. Il a ainsi été observé que les effets de l'âge avaient tendance à augmenter lorsque la stratégie à exécuter était difficile (i.e., undershoot) alors qu'ils étaient moins importants lorsque la stratégie était plus facile (i.e., one-shot).

En conclusion, nous avons pu mettre en évidence l'existence de variations stratégiques liées à l'âge dans le domaine sensori-moteur. Nos résultats ont montré des différences liées à l'âge dans le répertoire, la distribution et l'exécution stratégiques lorsque les participants effectuaient une tâche de pointage de Fitts. Par ailleurs, il semblerait que les variations stratégiques dans le domaine sensori-moteur soient similaires aux variations stratégiques observées dans le domaine cognitif, suggérant l'implication de ressources communes dans les deux domaines.

Expérience 2

Variations stratégiques et effets de difficulté séquentielle au cours du vieillissement dans la tâche de Fitts

Après avoir mis en évidence l'existence de variations stratégiques liées à l'âge dans le domaine sensori-moteur (Chapitre 4), l'objectif de cette expérience était d'étudier un autre phénomène lié aux variations stratégiques : les effets de difficulté séquentielle. Les effets de difficulté séquentielle ont été mis en évidence dans plusieurs tâches cognitives. Par exemple, dans une tâche de résolution de problèmes arithmétiques, Schneider et Anderson (2010) ont montré que les participants mettaient plus de temps pour résoudre un problème après avoir résolu un problème facile qu'après un problème difficile (i.e., effet séquentiel lié à la difficulté du problème – Trial Sequential Difficulty Effect - TSDE). Uittenhove et Lemaire (2012, 2013a, 2013b) ont quant à eux, montré que les participants jeunes et âgés mettaient plus de temps pour exécuter une stratégie après avoir exécuté une stratégie difficile qu'après une stratégie facile (i.e., effet séquentiel lié à la difficulté de la stratégie – Strategy Sequential Difficulty Effect - SSDE). Enfin, Lemaire et Leclère (2014a, 2014b) ont montré que les participants avaient tendance à répéter la même stratégie sur deux essais successifs (i.e., effet de répétition stratégique – Strategy Repetition Effect - SRE). Le but de cette étude était de tester ces trois effets de séquence dans le domaine sensori-moteur.

Expérience 2 – Variations stratégiques et effets de difficulté séquentielle au cours du vieillissement dans la tâche de Fitts

Nous avons donc demandé à 24 adultes jeunes et 24 adultes âgés, comme dans l'expérience 1, d'effectuer une tâche de pointage de Fitts. Deux niveaux de difficulté (ID) différents ont été utilisés (i.e., 3 et 7 bits), résultant uniquement de la manipulation de la largeur de la cible (W). Ainsi, W mesurait soit 6.5 cm (ID₃) soit 0.4 cm (ID₇) alors que la distance entre la position de départ et la cible était maintenue constante (27 cm). Afin de tester les effets de difficulté séquentielle, la moitié des essais était précédée d'un essai de même difficulté (i.e., ID₃ – ID₃ ou ID₇ – ID₇) et l'autre moitié d'un essai de difficulté différente (ID₃ – ID₇ ou ID₇ – ID₃). En utilisant la même procédure que dans l'expérience 1 nous avons pu identifier les quatre stratégies (i.e., one-shot, overshoot, undershoot et progressive-deceleration) permettant d'atteindre la cible.

L'analyse des temps de mouvement (TM) a permis de montrer que les adultes âgés étaient toujours plus lents que les adultes jeunes. De manière générale, les participants étaient également plus lents pour atteindre une petite cible (ID₇) qu'une cible de grande taille (ID₃). Par ailleurs, nous avons également étudié les variations stratégiques liées à l'âge dans les différentes dimensions stratégiques. Nous avons ainsi répliqué les résultats obtenus dans l'expérience 1 concernant le répertoire stratégique (i.e., les adultes âgés utilisaient moins de stratégies que les adultes jeunes), la distribution stratégique (i.e., les adultes âgés utilisaient majoritairement les stratégies comprenant des sous-mouvements – progressive-deceleration et undershoot – alors que les adultes jeunes préféraient la stratégie sans sous-mouvement – one-shot –) et l'exécution stratégique (i.e., les adultes âgés étaient plus lents que les adultes jeunes quelle que soit la stratégie utilisée).

Enfin, nous avons pu mettre en évidence trois effets de séquence, deux se produisant durant l'exécution stratégique (i.e., TSDE et SSDE) et un durant la sélection stratégique (i.e., SRE). Ainsi, les performances des participants étaient influencées par la difficulté de l'essai précédent mais également par la difficulté de la stratégie utilisée sur l'essai précédent. De plus,

Expérience 2 – Variations stratégiques et effets de difficulté séquentielle au cours du vieillissement dans la tâche de Fitts

nous avons observé que les participants répétaient la même stratégie sur deux essais successifs. Ils répétaient plus souvent la stratégie one-shot (65%) que la stratégie progressive-deceleration (25%) et plus rarement la stratégie undershoot (10%). Nous n'avons pas trouvé d'effet d'âge sur les effets de séquence au cours de l'exécution stratégique, cependant les résultats montrent des effets d'âge sur les effets de séquence pendant la sélection stratégique. En effet, les adultes âgés avaient tendance à répéter plus souvent les stratégies difficiles (i.e., progressive-deceleration et undershoot) et moins souvent les stratégies faciles (i.e., one-shot) que les adultes jeunes.

Nous avons proposé d'expliquer ces effets de séquence par un mécanisme général d'épuisement de ressources. Précédemment proposé par Schneider et Anderson (2010) et plus récemment élaborée par Uittenhove & Lemaire (2012) dans le domaine cognitif, l'hypothèse de l'épuisement des ressources permettrait également d'expliquer les effets de séquence observés dans la tâche de Fitts au cours de l'exécution stratégique. Selon cette hypothèse, les participants utiliseraient la majorité de leurs ressources (e.g., les FEs) pour effectuer un problème difficile (ou exécuter une stratégie difficile) et n'auraient plus assez de ressources pour effectuer l'essai suivant, conduisant à une diminution des performances. Cette hypothèse permettrait également d'expliquer les effets de séquence au cours de la sélection stratégique. En effet, les participants répétaient plus souvent la stratégie one-shot alors qu'ils changeaient de stratégie après avoir utilisé les stratégies progressive-deceleration et undershoot. Les stratégies difficiles (progressive-deceleration et undershoot) consommeraient plus de ressources et conduiraient ainsi les participants à changer pour une stratégie moins coûteuse comme la one-shot.

En conclusion, nous avons répliqué les résultats de l'expérience 1 concernant l'évolution avec l'âge des variations stratégiques dans la tâche de Fitts. Nous avons également observé trois effets de séquence, deux concernant l'exécution stratégique (i.e., TSDE et SSDE) et un concernant la sélection stratégique (SRE). Les effets de séquence concernant l'exécution

Expérience 2 – Variations stratégiques et effets de difficulté séquentielle au cours du vieillissement dans la tâche de Fitts

stratégique étaient comparables entre les adultes jeunes et âgés alors les effets de séquence concernant la sélection stratégique étaient plus importants chez les adultes âgés que chez les adultes jeunes. Ces résultats ont montré que les effets de séquence n'étaient pas uniquement restreints au domaine cognitif et qu'ils pouvaient se généraliser au domaine sensori-moteur. De plus, ils ont permis de mieux comprendre comment les processus responsables des effets de séquence dans le domaine sensori-moteur évoluent au cours du vieillissement. En utilisant la même procédure que dans les deux expériences précédentes, nous avons pu identifier les quatre stratégies (i.e., one-shot, overshoot, undershoot et progressive-deceleration) permettant d'atteindre la cible.

∞

Expérience 3

Vieillessement et effets de difficulté séquentielle dans les tâches cognitives et motrices

Les effets de difficulté séquentielle (Sequential Difficulty Effects, SDE) ont été mis en évidence dans les domaines cognitifs et sensori-moteurs. Cependant, ils n'ont jamais été étudiés au sein du même groupe de participants effectuant à la fois des tâches cognitives et sensori-motrices. Les SDE font référence à de moins bonnes performances sur l'item en cours lorsque celui-ci était précédé d'un item difficile que lorsqu'il était précédé d'un item facile. Le premier objectif de cette expérience était donc d'étudier les SDE dans une tâche cognitive et dans une tâche sensori-motrice afin de mieux comprendre les mécanismes responsables de ces effets. Le deuxième objectif était d'étudier l'évolution avec l'âge de ces SDE. Par ailleurs, dans les études précédentes, les SDE étaient observés après deux items successifs. Le troisième objectif de cette recherche était de tester l'hypothèse selon laquelle les SDE pouvaient s'accumuler sur plusieurs items et donc être amplifiés après trois items successifs.

Pour cela, nous avons demandé à 19 adultes jeunes et 19 adultes âgés d'effectuer une tâche d'estimation calculatoire et une tâche de pointage de Fitts. Pour la tâche d'estimation calculatoire, les participants devaient estimer le produit de multiplications de deux nombres à deux chiffres (e.g., 43×64) en utilisant soit la stratégie d'arrondi aux dizaines inférieures (e.g., faire $40 \times 60 = 2400$) soit la stratégie d'arrondi aux dizaines supérieures (e.g., faire $50 \times 70 = 3500$). Deux conditions étaient testées : la condition comprenant deux problèmes successifs et la

Expérience 3 – Vieillesse et effet de difficulté séquentielle dans les tâches cognitives et sensori-motrices

condition comprenant trois problèmes successifs. Dans un cas le problème cible était précédé soit d'un problème facile (e.g., 23 x 41) soit d'un problème difficile (e.g., 57 x 89) et dans l'autre cas, le problème était précédé soit de deux problèmes faciles soit de deux problèmes difficiles).

Pour la tâche de pointage, les participants devaient faire glisser un stylet depuis une zone de départ vers une cible. Les mouvements étaient effectués sur une tablette graphique afin de déplacer un curseur affiché sur l'écran d'un ordinateur. De la même manière que pour la tâche arithmétique, deux conditions étaient testées : une condition comprenant deux essais successifs et une condition comprenant trois essais successifs. Le niveau de difficulté de la tâche (ID) était obtenu en faisant varier uniquement la taille de la cible (i.e., 1.3 et 0.3 cm), la distance étant maintenue constante (20 cm). Ainsi, dans un cas l'essai cible était précédé soit d'un ID facile (ID₃) soit d'un ID difficile (ID₇) et dans l'autre cas, l'essai cible était précédé de deux ID faciles ou deux ID difficiles.

Nous avons observé des SDE pour chacune des deux tâches. Ainsi, les participants étaient plus lents après avoir résolu un problème difficile ou atteint une petite cible qu'après avoir résolu un problème facile ou atteint une grande cible. Cependant, contrairement aux études précédentes, nous avons observé des SDE uniquement dans la condition comprenant trois items successifs. Ces résultats obtenus à la fois dans la tâche cognitive et dans la tâche motrice pour le même groupe de participants suggèrent que des mécanismes généraux, tels que l'épuisement des ressources (proposé dans l'expérience 2), pourraient être responsables des SDE. En effet, les participants utiliseraient la majorité de leurs ressources pour effectuer les deux items difficiles et n'auraient plus les ressources nécessaires pour effectuer l'item en cours, ce qui affecterait leurs performances. Par ailleurs, les SDE observés dans la tâche cognitive ne corrélaient pas avec les SDE observés dans la tâche de Fitts. De plus, nous avons observé des SDE comparables entre les adultes jeunes et âgés dans la tâche cognitive alors que dans la tâche de Fitts, les SDE ont été

Expérience 3 – Vieillesse et effet de difficulté séquentielle dans les tâches cognitives et sensori-motrices

observés uniquement chez les adultes âgés. Ce dernier résultat suggère l'implication de mécanismes spécifiques dans la tâche de Fitts.

En conclusion, cette expérience a permis de mieux comprendre les processus sous-jacents à l'évolution avec l'âge des performances cognitives et sensori-motrices. Nous avons pu montrer que quel que soit le domaine étudié, les performances des participants jeunes et âgés étaient influencées par la difficulté de l'item précédent. Ces résultats suggèrent que des mécanismes généraux mais également des mécanismes spécifiques pourraient être responsables des SDE observés dans les tâches cognitives et sensori-motrices.

∞

Sequential difficulty effects in cognitive and sensori-motor tasks:

Insights from arithmetic and Fitts' task

Céline Poletti^{1,2}, Rita Sleimen-Malkoun², Jean-Jacques Temprado², & Patrick Lemaire¹

1. Aix-Marseille Univ CNRS, UMR 7290, & IUF, 13331, Marseille cedex 03, France
2. Aix-Marseille Univ, CNRS, ISM UMR 7287, 13288, Marseille cedex 09, France

(Submitted in : *American Journal of Psychology*)

Author Note

This study was supported by grants from the *Agence Nationale pour la Recherche (ANR-13-BSH2-0005-03)*.

Correspondence about this paper should be directed to Patrick Lemaire, Laboratoire de Psychologie Cognitive & CNRS, Aix-Marseille Université, Case D, 3 Place Victor Hugo, 13331 Marseille, France. Phone: +33 4 13 55 09 85. Email: patrick.lemaire@univ-amu.fr.

Abstract

The present study tested sequential difficulty effects (SDE) in arithmetic problem solving and Fitts' aiming task for the same individuals. SDE refer to poorer performance on current items following harder items relative to after easier items. Young and older adults accomplished a computational estimation task (i.e., finding the approximate products to two-digit multiplication problems) and a Fitts' aiming task (i.e., performing rapid pointing movements to reach targets). Current items were preceded by two easy/difficult items (i.e., three-successive trials condition) or only one easy/difficult item (i.e., two-successive trials condition). Participants' performance revealed SDE in both tasks under the three-successive trials condition, but not under the two-successive trials condition. Data also revealed comparable SDE in both age groups during the computational estimation task, but SDE only in older adults while participants accomplished the Fitts' aiming task. These findings have a number of important implications to further our understanding of mechanisms underlying SDE and age-related differences in SDE, as they suggest that SDE involve both domain-general and domain-specific mechanisms that are differentially influenced by aging.

Key words: *Ageing; Sequential effects; Estimation task; Fitts task.*

Introduction

The present study aimed at investigating how sequential difficulty effects (SDE) change with aging and whether SDE occur within a group of individuals performing different cognitive and sensori-motor tasks. SDE refer to participants' poorer performance observed on current items following harder items relative to after easier items. Interestingly, SDE capture the fact that cognitive and/or sensori-motor performance on a current item not only depend on that item's characteristics but are also influenced by the characteristics of immediately preceding items. SDE have been tested in different cognitive and sensori-motor tasks, but have never been demonstrated within a group of the same individuals across different domains. In the present study, we investigated SDE in a cognitive and a sensori-motor task to further our understanding of the mechanisms underlying SDE. We also tested how SDE change with aging.

Previous research found SDE in both cognitive (Schneider & Anderson, 2010; Uittenhove & Lemaire, 2012, 2013a, b; Uittenhove et al., 2013, 2014) and sensori-motor tasks (Poletti, Sleimen-Malkoun, Lemaire, & Temprado, 2016). For example, in cognitive tasks, Schneider and Anderson (2010) found that verifying arithmetic problems (e.g., $17 + 42 = 59$) was slowed down after difficult problems (e.g., $21 + 54$) relative to after easier problems (e.g., $31 + 27$). Recently, Poletti, Sleimen-Malkoun, Lemaire, and Temprado (2016) tested age-related changes in SDE when participants had to perform a sensori-motor task (i.e., the Fitts' aiming task). They found that reaching a given target was slowed down after having reached smaller (harder) targets relative to after larger (easier) targets.

SDE have been accounted for by assuming lesser availability of executive resources after more difficult items. Specifically, difficult items are hypothesized to temporarily consume more central resources (e.g., executive functions) than easier ones, thus slowing down performance on

the next item. However, it is still unknown whether SDE and their changes with aging involve domain-general mechanisms (predicting that individuals with larger SDE in one domain would also have larger SDE in another domain), domain-specific mechanisms (predicting that different individuals show SDE of different magnitudes in different domains), or both domain-general and domain-specific mechanisms (predicting SDE in different domains for the same individuals, but uncorrelated SDE across different domains). Based on previous findings of age-related increase in correlations between cognitive and sensori-motor performance (see Schäfer, Huxhold, & Lindenberger, 2006, for a review), it could be predicted that as individuals grow older, larger SDE in one domain is accompanied by larger SDE in another domain. This prediction was tested in the present study.

Another goal of the present experiment was to determine whether SDE cumulates across trials. Previous research has established that the SDE occurred across two successive trials. Here, we tested the possibility that SDE cumulate and increase across more than two successive trials or whether the SDE are of comparable magnitudes across two and across three successive trials. This was expected to shed further light on how the resource depletion mechanisms, assumed to underlie SDE, work during both cognitive and sensori-motor tasks in which participants complete several trials in succession. Increased SDE under three-successive trials condition relative to under two-successive trials condition may be more likely found in older than in younger adults as processing resources are known to decrease with aging (e.g., Craik & Salthouse, 2008; Glisky, 2007).

To achieve these goals, we asked young and older participants to accomplish a computational estimation task (i.e., finding the approximate products to two-digit multiplication problems) and a Fitts' aiming task (i.e., performing rapid pointing movements to reach targets). Then, we compared participants' performance on current items following difficult problems (for the

arithmetic task) or smaller targets (for the Fitts' aiming task) relative to after easier problems or larger targets. Moreover, SDE were compared under two versus three-successive trial conditions. Of interests were whether individuals showing larger SDE in one domain were those who would also show larger SDE in the other domain, how SDE changed with adults' age, and whether young and older adults' SDE would differ under two versus three-successive trial conditions in each of the cognitive and sensori-motor domains tested here.

Method

Participants. Thirty-eight healthy volunteers, divided into two age groups, were tested: 19 young and 19 older adults (see Table 1 for participants' characteristics). Young adults were undergraduates from Aix-Marseille University (Marseille, France). Older adults were recruited from the community of Marseille. They all had scores larger than 27 in the Mini-Mental State Examination (MMSE; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975). After a presentation of the experiment, each participant signed an informed written consent, approved by the local ethic committee of Aix-Marseille University, and in accordance with the ethical standards laid down in the Declaration of Helsinki. Participants were individually tested in two different tasks, the arithmetic task, which consisted in estimating multiplication problems and the Fitts' task, which consisted in performing rapid pointing movements. The order of presentation of both tasks was counterbalanced between participants. First, all participants performed the experimental tasks (i.e., arithmetic and Fitts' task). Then, they completed a French version of the Mill-Hill Vocabulary Scale (MHVS; Deltour, 1993; Raven, 1951) to assess their verbal fluency, and the addition-subtraction-multiplication subtests of the French Kit (French, Ekstrom, & Price, 1963) to assess their arithmetic fluency with an independent paper-and-pencil test.

Table 1. Participants' characteristics.

Characteristics	Younger adults	Older adults	Means	F
<i>N</i> (Females)	19	19	--	--
Mean age (<i>SD</i>)	24.9 (3.5)	73.7 (5.5)	49.3 (25.1)	1051.95*
Age range	19-32	65-83	--	--
Years of education (<i>SD</i>)	16.7 (2.7)	13.1 (1.7)	14.9 (2.9)	24.61*
MHVS (<i>SD</i>)	24.8 (4.4)	26.1 (3.4)	25.5 (3.9)	2.60
Arithmetic fluency (<i>SD</i>)	49.4 (14.7)	73.8 (21.0)	61.6 (21.7)	17.26*
MMSE (<i>SD</i>)	--	29.0 (0.9)	--	--

Note. $p < .001$.

Stimuli. In the Fitts' aiming task, participants had to perform 48 trials. Each trial consisted of three targets to reach. Task difficulty (ID) was scaled via the manipulation of the size of the target. Three target widths (W) were used: 5, 1.3, and 0.3 cm. The distance (D) between the starting zone and the center of the target was held constant (20 cm).

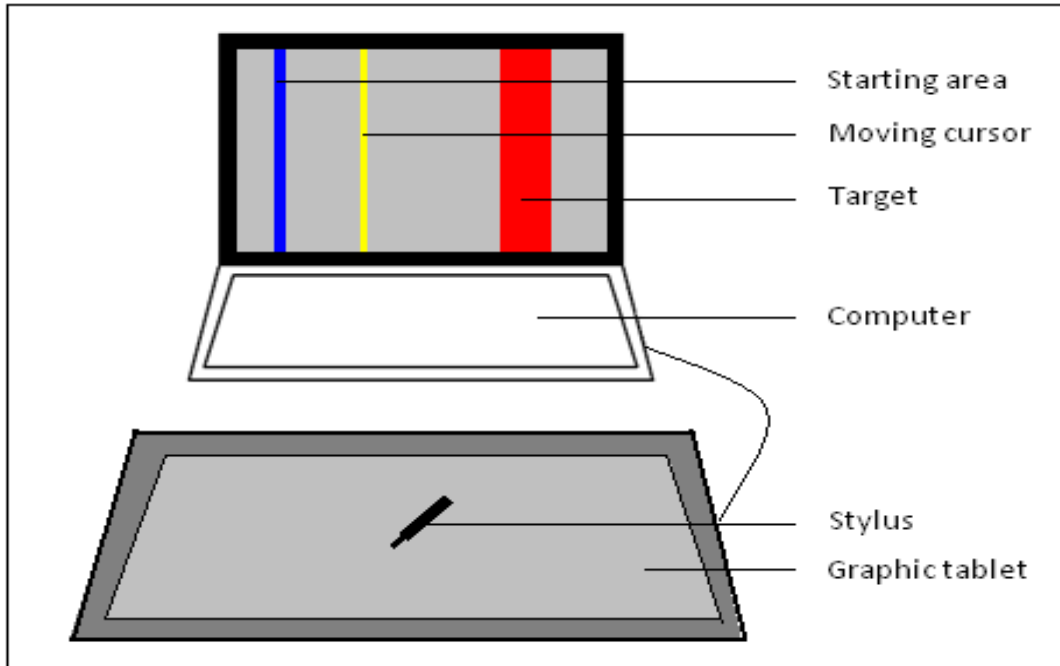
In the arithmetic task, 48 trials were presented to each participant. Each trial consisted of three consecutive two-digit multiplication problems, followed by a series of four letters. Half of the four letter series included either only consonants or only vowels, and half included both types of letters. Arithmetic problems were either homogeneous problems (i.e., one- or two-successive problems) or heterogeneous problems (i.e., target problems). Homogeneous problems were problems with the unit digit of both operands smaller than 5 (e.g., 32 x 64) or larger than 5 (e.g.,

37 x 69). Half the homogeneous problems were considered as easy problem since their unit digits of both operands were smaller than 5 (e.g., 41 x 64), and half the homogeneous problems were considered as hard problems since their unit digits of both operands were larger than 5 (e.g., 39 x 47). Heterogeneous problems were considered as problems of intermediate difficulty since they had one operand with its unit digit smaller than 5 and the other with its unit digit larger than 5 (e.g., 43 x 69). These problems were chosen because previous work (e.g., Taillan, Ardiale, & Lemaire, 2015) showed that easy and hard homogeneous problems generated better and worse performance respectively, and that heterogeneous problems generated intermediate performance between easy and hard homogenous problems. Following previous findings in arithmetic (see Campbell, 2005, for an overview), problems were selected with the following constraints: (a) no operands had a 0 unit digit (e.g., 20 x 63) or a 5 unit digit (e.g., 25 x 63); (b) no digits were repeated within operands (e.g., 22 x 63); (c) no reverse orders of operands were used (e.g., 24 x 63 and 63 x 24); (d) the first operand was larger than the second operand in half the problems, and vice versa; (e) no operand had its closest decade equal to 0, 10, or 100; and (f) rounded operands were never the same across two rounding problems in a given trial (e.g., if one problem in a trial was 32 x 64, the next problem could not be 31 x 62).

Procedure. In the Fitts' aiming task, participants were seated in front of a Wacom graphic tablet (Intuos4 XL) positioned on a tabletop. The graphic tablet was connected (via a USB port) to a portable PC (Dell, Latitude D420) placed about 60 cm in front of them at eye level. The task consisted in performing rapid pointing movements with the right arm, by sliding a hand-held non-marking stylus (Wacom, Generation 2 tip sensor) over the surface of the tablet. Sliding movements were performed on the tablet in order to move an on-screen displayed cursor (i.e., a yellow vertical line of 1 mm) from a starting zone (i.e., a rectangular blue zone of 2 mm) towards a rectangular red target (see Figure 1). Participants were instructed to adopt the most comfortable

position in order to make left-to-right movements, parallel to the longer side of the tablet, by extending the shoulder and elbow. The trunk position was restricted by the chair-back position and the front edge of the table.

Figure 1. Front view of the experimental setup for the Fitts' task.



Before each trial, participants were asked to hold still the yellow cursor on the blue starting zone until they heard a beep. After the beep, movement could be initiated at any time the participants wished. They were however instructed to keep optimal speed-accuracy trade-off while executing the movement that is “to move the cursor as fast as possible from the starting zone in order to make it reach and stop on the target”. The mapping between the movement of the stylus on the tablet and that of the cursor on the screen was linear and of constant gain (gain = 1). The 1D displacement of the cursor on the screen was visually available as an online feedback during movement execution. Before the experimental task, participants were allowed to complete two (unrecorded) familiarization trials for each ID condition. Then, participants completed the

Fitts' task in 12 blocks of 12 trials each, for a total of 144 targets to reach, with a break in-between each block. Two conditions were tested, two-successive trial and three-successive trial conditions. Both two- and three-successive trial conditions included exactly the same target widths. The only difference between the two conditions was in the order of target widths. The two-successive trials condition was composed of a first ID (i.e., ID₃ or ID₇) followed by a target ID (i.e., ID₅), itself followed by a post-target ID (i.e., ID₃ or ID₇). For example, a two-successive trials condition included the following IDs: ID₃ - ID₅ - ID₃, with ID₃ as the first ID, ID₅ the target ID, and ID₃ the post-target ID. The three-successive trials condition was composed of two-successive IDs followed by a target ID (e.g., ID₃ - ID₃ - ID₅). All participants were tested under both two- and three-successive trial conditions. Half the participants were tested in the two-successive trials condition first and in the three-successive trials condition second. The other participants were tested in the reverse order for the two conditions

In the arithmetic task, the experimental stimuli were displayed horizontally in 100-point Courier New font (black color) in the center of a 15.6-inch computer screen controlled by a DELL Latitude D420 computer. The software (E-Prime) controlled stimulus display and latency collection. Participants were told that they were going to do computational estimation. The computational estimation task was explained as giving an approximate answer to an arithmetic problem that is as close as possible to the correct answer without actually calculating it. As previous works showed that participants used several strategies to solve arithmetic problems, to control for age-differences in strategy repertoire and strategy distribution, we restricted strategy repertoire to only two strategies. These two strategies are known to be used spontaneously by young and older adults in comparable proportions. Thus, participants had to estimate the product of each problem displayed on the screen, using either the rounding-down strategy (e.g., rounding both operands down to the nearest decades, for instance doing 60 x 30 to estimate 63 x 38) or the

rounding-up strategy (e.g., rounding both operands up to the nearest decades, for instance doing 70×40 to estimate 63×38).

After an initial practice period including 6 problems (3 easy and 3 hard homogeneous problems), all participants had no difficulties to estimate the products of multiplication problems (i.e., none of them tried to calculate the exact product). Then, participants practiced for 3 trials, each involving 3 multiplication problems (2 easy or hard homogeneous problems and 1 heterogeneous problem) and a series of 4 letters for them to get familiarized with the procedure and the structure of each trial. Finally, in the experimental part, participants solved 48 trials with a break in-between each block of 12 trials. Two conditions were tested, two-successive trial and three-successive trial conditions. Both two- and three-successive trial conditions included exactly the same individual problems. The only difference between the two conditions was in the order of problems. The two-successive trials condition was composed of a first problem followed by a target problem, itself followed by a post-target problem. For example, the two-successive trials condition included the following problems: 48×67 , 34×59 , 79×28 , with 48×67 as the first problem, 34×59 the target problem, and 79×28 the post-target problem. The three-successive trials condition was composed of two successive problems followed by a target problem (e.g., 48×67 , 79×28 , 34×59). For the problems immediately preceding the target problems to be exactly the same in both two- and three-successive trial conditions, each first problem of the three-successive trials condition was the same as the post-target problem of the corresponding two-successive trials condition. All participants were tested under both two- and three-successive trial conditions. Half the participants were tested in the two-successive trials condition first and in the three-successive trials condition second. The other participants were tested in the reverse order for the two conditions

Each trial began with a 500-ms blank screen before a 400-ms warning signal (“#”) displayed at the center of the screen, followed by the first problem. Then, another 500-ms blank screen, a 400-ms warning signal, and then the second problem, followed again by the 500-ms blank screen and the 400-ms warning signal, then the third problem. The timing of each response began when the problem appeared on the screen and ended when the experimenter pressed the space bar on the computer keyboard, the latter event occurring as soon as possible after the participant’s responses. Participants were asked to calculate out loud so we could identify any errors of estimation. After the target problem of each trial, a blank screen followed the participant’s response.

After the last multiplication problem of each trial, a blank screen followed the participant’s response for 500 ms, then, the warning signal appeared for 400 ms followed by four letters (e.g., *thlm*). Letters were presented until the participant responded, pressing the green touch when the four letters were only consonants (e.g., *trlc*) or only vowels (e.g., *aeyo*), and the red touch when the four letters included both consonants and vowels (e.g., *ubqi*). A blank screen was finally displayed for 1,000 ms at the end of each trial and before the next trial started (see Figure 2).

Fitts’ data processing. The pen-tip raw displacement data were recorded using a customized software (ICE) developed at the laboratory (Institute of Movement Sciences, Marseille) at a sampling frequency of 250 Hz. The recorded data were filtered using a second-order dual pass (no phase-lag) Butterworth filter with a cut-off frequency of 10 Hz. First, second, and third derivatives of displacement (velocity, acceleration, and jerk, respectively) were then computed in MATLAB (MathWorks, v.7.5.0 R2007b). Movement onset and offset were determined on the basis of velocity profiles using the *optimal algorithm* of Teasdale, Bard, Fleury, Young, and Proteau (1993). The critical velocity threshold was obtained by multiplying peak velocity by 0.05.

This procedure allowed us to calculate for each trial, in each condition, the *movement time* (*MT*) corresponding to the time to reach the target, and the *effective target width* (*We*). The effective target width (*We*) was calculated from the standard deviation of movement end points (Mackenzie, 1992) using the following formula: $We = 2 * 1.96 * SD_A$, where SD_A is the Standard Deviation of movement amplitude, and 1.96 is the boundary of a normal distribution at 95%. Then, to check whether the prescribed IDs were respected or not (Sleimen-Malkoun et al., 2012), we compared the distributions of movement end points (centered on mean movement amplitude and bounded by calculated *We*), and the prescribed ones (centered on target distance and bounded by target edges). These comparisons yielded no significant statistical differences ($t_s < 1$). As a consequence, the prescribed ID levels were used for all participants.

Results

The first analysis aimed at checking the relative difficulty of items in both our arithmetic and Fitts' aiming tasks and whether relative difficulty varied with aging. The second analysis aimed at testing sequential difficulty effects (SDE) and how they varied across age groups. Note that preliminary analyses did not reveal any order effects in the presentation of both tasks and both conditions ($F_s < 1$). Unless otherwise noted, all reported effects are significant with $p < .05$.

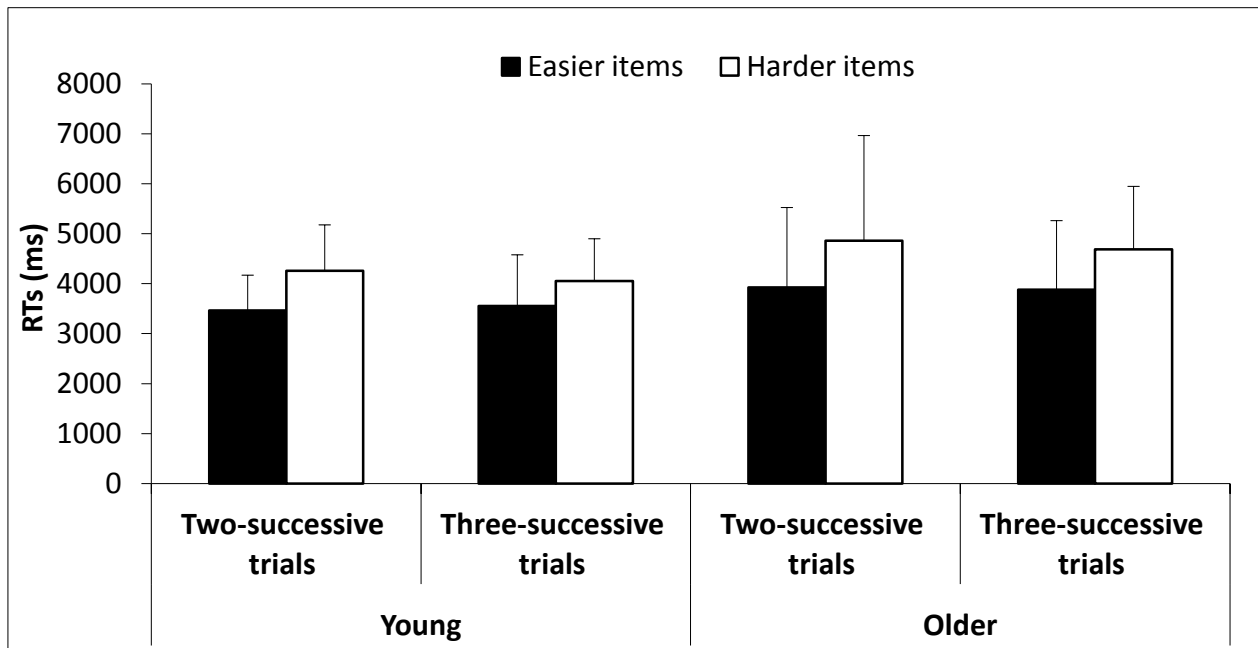
Effects of item difficulty

Arithmetic task. ANOVAs were performed on mean correct solution times and percent errors (i.e., an error was made when participants' response differed from that expected given the rounding strategy that was used, like when a participant rounded both operands down to estimate 42×57 and gave 2,100 as a response) on the first items of each trial with mixed designs, 2 (Group: young, older adults) \times 2 (Condition: two-, three-successive trial conditions) \times 2 (Item difficulty: easier, harder items), with repeated measures on the last two factors. Participants were

faster on easier items than on harder items (3706 ms vs. 4464 ms, $F(1,36) = 30.44$, $MSe = 715866.7$, $n^2p = 0.46$). Main effects of Group ($F < 3$, ns) or Condition ($F < 1$) or interactions involving the group factor were non significant ($F_s < 1$), revealing that young and older adults performed equally well, and that both groups did not differ in relative item difficulty under each condition (see Figure 2).

Participants made 10% errors on the first item of each trial. However, no main effects ($F < 1$) or interactions ($F_s < 4$, ns) came out significant.

Figure 2. Mean solution latencies on the first arithmetic problems of each trial as a function of problem difficulty and conditions in young and older adults (Error bars represent Standard Deviations).

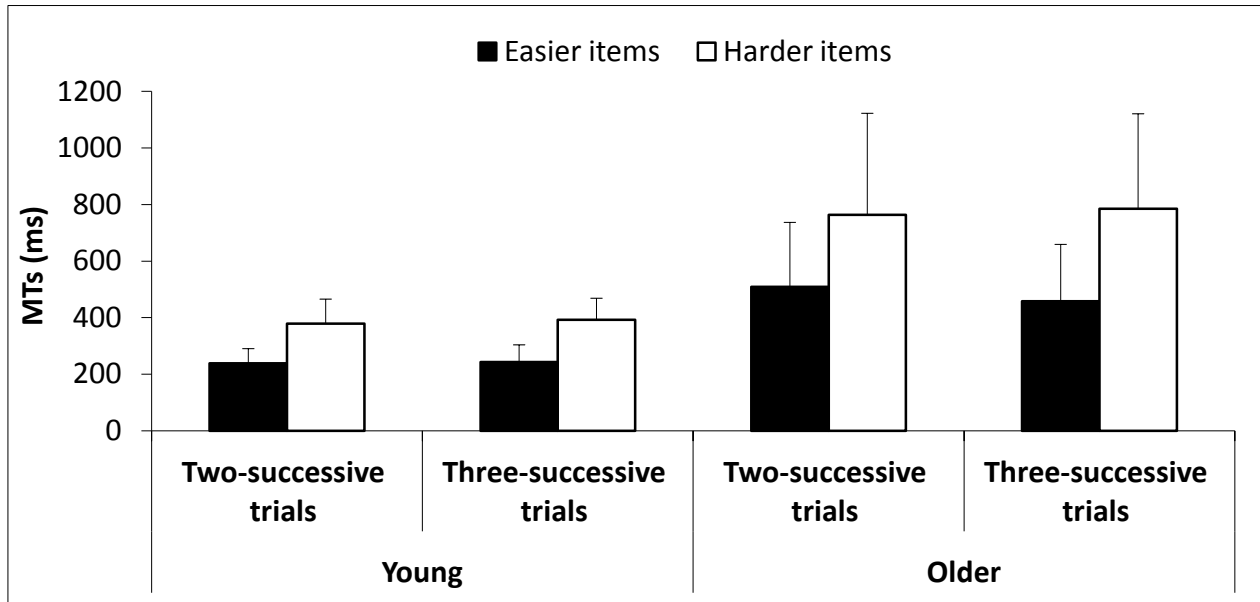


Fitts' aiming task. ANOVAs were performed on mean correct movement times and percent errors (i.e., an error was made when participants missed the target) on the first items of each trial with mixed designs, 2 (Group: young, older adults) x 2 (Condition: two-, three-successive trial conditions) x 2 (Item difficulty: easier, harder items), with repeated measures on the last two

factors. MTs were longer in older than in young adults (629 ms vs. 313 ms, $F(1,36) = 25.37$, $MSe = 149334$, $n^2p = 0.41$). Moreover, participants were faster on easier items than on harder items (362 ms vs. 580 ms, $F(1,36) = 117.27$, $MSe = 15334$, $n^2p = 0.77$). The Group x Item difficulty interaction was significant ($F(1,36) = 13.03$, $MSe = 15334$, $n^2p = 0.27$), showing that effects of item difficulty were larger in older adults (290 ms, $F(1,36) = 104.23$) than in young adults (145 ms, $F(1,36) = 26.06$). The Condition x Item difficulty interaction was also significant ($F(1,36) = 4.80$, $MSe = 3227$, $n^2p = 0.12$), showing that effects of item difficulty were larger under the three-successive trial (238 ms, $F(1,36) = 126.90$) than under the two-successive trial conditions (197 ms, $F(1,36) = 73.27$; see Figure 3).

Participants made 13% errors on the first item of each trial. Young adults made more errors than older adults (17% vs. 10%, $F(1,36) = 4.61$, $MSe = 335.50$, $n^2p = 0.11$). Both young and older adults made more errors on harder than on easier items (25% vs. 2%, $F(1,36) = 80.03$, $MSe = 248.29$, $n^2p = 0.69$). The Group x Item difficulty interaction was significant ($F(1,36) = 8.74$, $MSe = 248.29$, $n^2p = 0.20$), showing that young adults made more errors on harder than on easier items (32% vs. 1%, $F(1,36) = 70.83$) compared to older adults (18% vs. 3%, respectively on harder and easier items, $F(1,36) = 17.94$). No other effects came out significant.

Figure 3. Mean movement times on the first items of each trial in the Fitt's aiming task as a function of item difficulty and conditions in young and older adults (Error bars represent Standard Deviations).



In sum, participants were longer on harder items than on easier items in both arithmetic and Fitts' aiming tasks. Moreover, difficulty effects were of comparable magnitudes in young and older adults in the arithmetic task, whereas they were larger in older adults than in young adults in the Fitts' aiming task. To test whether the effects of item difficulty were independent across both the arithmetic and the Fitts' tasks, we contrasted z -scores for the difference between easier and harder items in each task. We found that the effects of item difficulty in the arithmetic task were positively correlated with those in the Fitts' aiming task in older adults ($r = .50$), but not in young adults ($r = -.01$).

Sequential difficulty effects

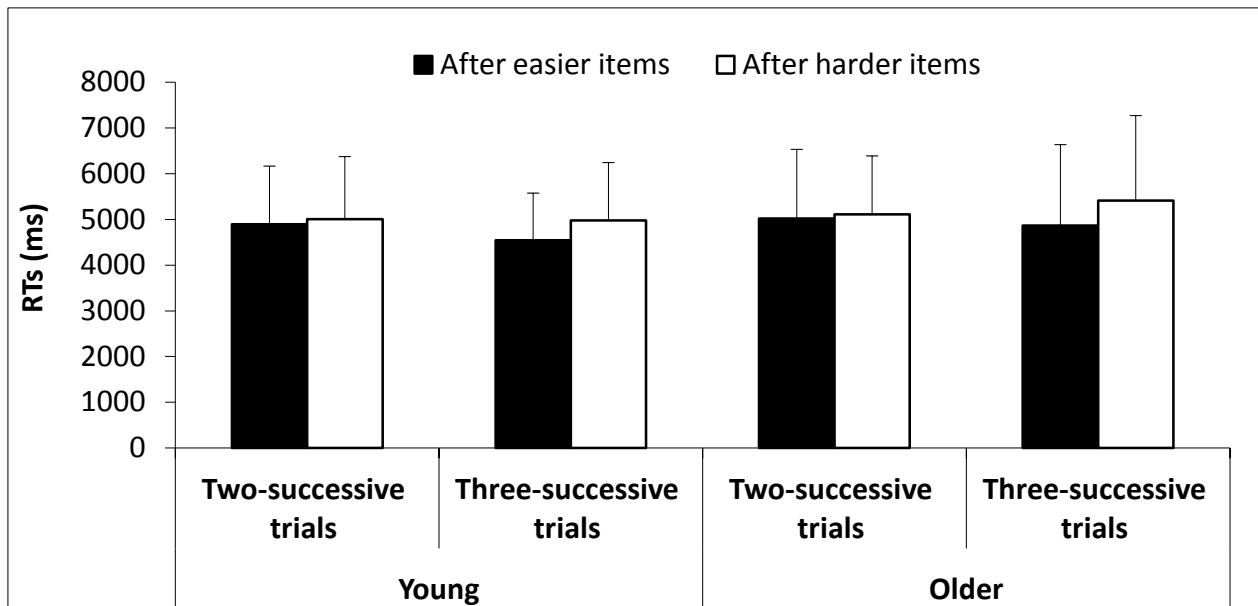
Arithmetic task. We conducted a three-way ANOVA on participants' mean solution times on correctly solved target items of each trial with a mixed design, 2 (Group: young, older adults) x 2

(Condition: two-, three-successive trial conditions) x 2 (Previous item difficulty: easier, harder items), with repeated measures on the last two factors. Participants were slower on the target items after harder items (5128 ms) than after easier items (4830 ms), yielding 298 ms SDE ($F(1,36) = 4.73$, $MSe = 7115051$, $n^2p = 0.12$). The Condition x Previous item difficulty interaction was significant ($F(1,36) = 4.62$, $MSe = 319124.5$, $n^2p = 0.11$), revealing significant SDE under the three-successive trials condition (+ 494 ms, $F(1,36) = 8.73$), but non significant SDE under the two-successive trials condition (+ 100 ms, $F < 1$). Finally, none of the interactions involving the group factor (Group x Condition; Group x Previous item difficulty; Group x Condition x Previous item difficulty) were significant ($F_s < 1$), showing comparable performance in young and older adults both overall and in whichever problem-related and condition-related (see Figure 4).

Corresponding ANOVA on errors revealed that participants erred on 11% of target items. Both young and older adults made more errors under the three-successive trial condition than under the two-successive trial condition (13% vs. 9%, $F(1,33) = 4.33$, $MSe = 122.25$, $n^2p = 0.12$). They erred more often after harder than after easier items (13% vs. 10%, $F(1,33) = 5.33$, $MSe = 62.95$, $n^2p = 0.14$). The Group x Previous item difficulty interaction was significant ($F(1,33) = 7.83$, $MSe = 62.95$, $n^2p = 0.19$), showing that older adults made more errors after harder than after easier items (15% vs. 8%, $F(1,33) = 12.01$), whereas percentages of errors were similar after harder and after easier items in young adults (11% vs. 11%, $F < 1$). The Condition x Previous item difficulty interaction was also significant ($F(1,33) = 6.57$, $MSe = 57.17$, $n^2p = 0.17$). Percentages of errors were larger after harder than after easier items under the two-successive trials condition ($F(1,33) = 10.65$), and were similar after easier and after harder items under the three-successive trials condition ($F < 1$). Finally, the Group x Condition x Previous item difficulty came out significant ($F(1,33) = 5.71$, $MSe = 57.17$, $n^2p = 0.15$), showing that older adults erred more after

harder than after easier items under the two-successive trials condition (15% vs. 2%, $F(1,33) = 20.98$), but equally often on items following easier versus harder items under the three-successive trials condition (14% vs. 15%, $F < 1$). Percentages of errors did not differ after easier and harder items under either two- or three-successive trial conditions in young adults ($F_s < 1$).

Figure 4. Mean solution times on current arithmetic problems as a function of the difficulty of previous problems and conditions in young and older adults (Error bars represent Standard Deviations).

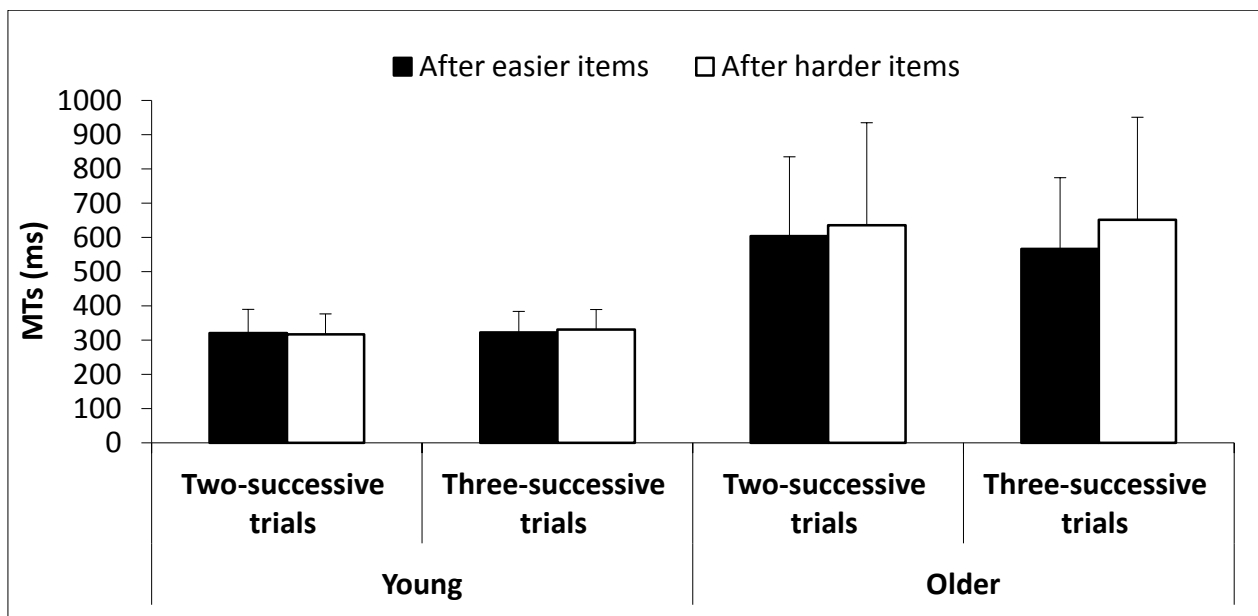


Fitts' aiming task. We conducted a three-way ANOVA on participants' mean movement times on correctly reached target items of each trial with a mixed design, 2 (Group: young, older adults) x 2 (Condition: two-, three-successive trial conditions) x 2 (Previous item difficulty: easier, harder items), with repeated measures on the last two factors. MTs on the target items were longer in older than in young adults (615 ms vs. 323 ms, $F(1,36) = 24.79$, $MSe = 130774$, $n^2p = 0.41$). Participants were slower on the target items after harder items (484 ms) than after easier items (453 ms), yielding 31 ms SDE ($F(1,36) = 5.02$, $MSe = 6946$, $n^2p = 0.12$). The Condition x Previous item difficulty interaction was significant ($F(1,36) = 4.84$, $MSe = 2120$, $n^2p = 0.12$), revealing significant SDE under the three-successive trials condition (+ 46 ms, $F(1,36) =$

7.07), but non-significant SDE under the two-successive trials condition (+ 14 ms, $F = 1.14$, ns). The Group x Previous item difficulty was also significant ($F(1,36) = 4.31$, $MSe = 6946$, $n^2p = 0.12$), and revealed SDE in older adults (+ 59 ms, $F(1,36) = 9.31$) but not in young adults (+ 3 ms, $F < 1$). Finally, although the Group x Condition x Previous item difficulty interaction was not significant, we ran breakdown analyses to analyze SDE in each age group under each condition. We found that SDE in older adults occurred only under the three-successive trials condition ($F(1,36) = 11.74$). SDE were non-significant in older adults when tested under two-successive trials condition ($F = 2.95$, ns) and in young adults tested under both two- and three-successive trial conditions ($Fs < 1$, see Figure 5).

Participants erred on 7% of target items. Young adults made more errors than older adults (9% vs. 5%, $F(1,36) = 4.67$, $MSe = 150.91$, $n^2p = 0.11$). No other effects came out significant.

Figure 5. Mean movement times on the target items in the Fitt's aiming task as a function of the difficulty of previous items and conditions in young and older adults (Error bars represent Standard Deviations).



In sum, we found SDE in both arithmetic and Fitts' aiming tasks only under the three-successive trials condition. Moreover these effects were similar in young and older adults in the arithmetic task, whereas they were found only in older adults in the Fitts' aiming task.

Discussion

In the present study, we investigated sequential difficulty effects (SDE) in an arithmetic task and in a Fitts' aiming task for the same young and older individuals. Above and beyond replicating previous findings regarding sequential difficulty effects (SDE), new important findings were observed in the present experiment.

As a prerequisite, our results replicated SDE in both cognitive and sensori-motor tasks. Indeed, participants' performance on a given item was always influenced by the difficulty of the preceding items. Specifically, participants were slower on current items after solving harder problems or after reaching smaller targets relative to easier problems or larger targets. However, results also showed that SDE occurred only when participants had to solve two previous harder problems or had to reach two previous smaller targets (i.e., under the three-successive trials condition). This result is somewhat surprising since in previous cognitive and sensori-motor studies (e.g., Poletti et al., 2016; Schneider & Anderson, 2010), SDE were observed in the two-successive trials condition. A plausible explanation is that, in the present study, the domain-specific resources that were used on the preceding items were not sufficiently taxed to produce SDE in the two-successive trials condition. Note though that during the arithmetic task, older adults made more errors on target items after harder problems than after easier problems, making SDE visible on error rates.

In the three-successive trials condition, after solving two items, presumably, fewer resources were available on current items. As a consequence, SDE were observed in both arithmetic and Fitts' aiming tasks. Observing SDE in both domains with the same group of individuals suggests

that SDE rely on a general mechanism of resource depletion. Participants have used up a large amount of their available resources to perform two consecutive difficult items, leading to a depletion of the available resources on the current items, thus hindering performance. Moreover, the present results also suggest domain-specific mechanisms since SDE found in the arithmetic task did not correlate with SDE found in the Fitts' aiming task ($r < .03, p > .05$).

Most interestingly, the present data revealed SDE of comparable magnitudes in young and older adults for the arithmetic task and SDE in older adults only for the Fitts' aiming task. The lack of differences between young and older adults' SDE in the arithmetic task could be due to compensation mechanisms in older adults. Indeed, in this task, performance on the first problems of each condition in older adults did not differ from those of young adults, suggesting that good arithmetic skills could have helped them to compensate for SDE. During the Fitts' aiming task, in contrast to young adults, older adults were slower in reaching the current targets after having reached smaller targets than after larger targets. A possible explanation is that older adults allocated more attention to more demanding central processing of sensory information for online monitoring movements than young adults, especially when they had to reach smaller targets. Such increased cognitive control of movement presumably relies on the recruitment of executive functions that support planning, control, and execution of complex tasks (see Yogev, Hausdorff, & Giladi, 2008; Woollacott & Shumway-Cook, 2002, for supporting evidence in gait and posture studies). It is possible that the well-known age-related decrease in executive control processes (see Diamond, 2013), combined with greater processing demands during online monitoring of movements led to increased age-related differences in SDE during the Fitts' aiming task. Another possibility lies in the nature of strategies used by young and older adults. As previous studies in a number of domains found, young and older adults often differ in the strategies they use to accomplish tasks (see Lemaire, 2016, for an overview). Here, it is possible that young and older

adults did not use the same strategies to reach targets. For example, if older adults have used harder strategies more often on the two preceding targets compared to young adults, they could have fewer available resources to reach the current targets, explaining these age-related differences in SDE (see Poletti et al., 2016, for supporting evidence). To test this strategy hypothesis, future studies will have to determine which strategy is used on each trial and examine if young and older adults differ in strategy use on easier and harder items. This was not the case in the present study since, in Fitts' task, the control of the strategies (e.g., via instructions) that participants execute is impossible.

Conclusion and perspectives

These findings further improve our understanding of the nature of the processes underlying cognitive and sensori-motor performance in young and older adults. For the first time, SDE were investigated in the same individuals performing both cognitive and sensori-motor tasks. Whatever the domain, we found that young and older adults' performance on a current item was influenced by the difficulty of the preceding items. These results suggest that aging influence general mechanisms governing both cognitive and motor performance. Moreover, they showed domain-specific alterations with aging, such as greater SDE during sensori-motor Fitts' aiming task. More research will be needed to fully determine the underlying mechanisms and the effect of aging thereon (e.g., by examining the possibility that age-related differences found here stem from strategy differences).

References

- Anstey, K. J., Lord, S. R., & Williams, P. (1997). Strength in the lower limbs, visual contrast sensitivity, and simple reaction time predict cognition in older women. *Psychology and Aging, 12*(1), 137–44.
- Anstey, K. J., & Smith, G. a. (1999). Interrelationships among biological markers of aging, health, activity, acculturation, and cognitive performance in late adulthood. *Psychology and Aging, 14*(4), 605–618.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Mini-mental state”: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research, 12*, 189–198.
- French, J. W., Ekstrom, R. B., & Price, L. A. (1963). *Kit of reference tests for cognitive factors*. Princeton, NJ: Educational Testing Services.
- Deltour, J. J. (1993). *Echelle de vocabulaire de Mill Hill de J. C. Raven. Adaptation française et normes européennes du Mill Hill et du Standard Progressive Matrices de Raven (PM38)* [Raven’s Mill-Hill Vocabulary Scale: A French adaptation and European norms for Mill Hill and Standard Progressive Matrices (PM38)]. Braine-le-Château Belgium : Éditions l’application des techniques modernes.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135–168.
- Lemaire, P (2016). *Cognitive Aging: The Role of Strategies*. London: Routledge, Psychology Press.
- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychology and Aging, 9*(3), 339–55.
- Poletti, C., Sleimen-Malkoun, R., Lemaire, P., & Temprado, J. J. (2016). Strategic variations and sequential effects in young and older adults performing a Fitts’ task. *Acta Psychologica, 163*, 1–9.
- Raven, J. C. (1951). *Guide to using progressive matrices (1947), Sets A, Ab, B* (2nd ed.) London, England: H. K. Lewis.
- 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*(2), 45–54.
- Schneider, D. W., & Anderson, J. R. (2010). Asymmetric switch costs as sequential difficulty effects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 63*(10), 1873–1894.

- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J., Huys, R., Jirsa, V., & Berton, E. (2012). Is fitts' law continuous in discrete aiming? *PLoS ONE*, *7*(7), e41190.
- Teasdale, N., Bard, C., Fleury, M., Young, D. E., & Proteau, L. (1993). Determining movement onsets from temporal series. *Journal of Motor Behavior*, *25*(2), 97–106.
- Uittenhove, K., & Lemaire, P. (2012). Sequential difficulty effects during strategy execution: A study in arithmetic. *Experimental Psychology*, *59*(5), 295–301.
- Uittenhove, K., & Lemaire, P. (2013a). Strategy sequential difficulty effects vary with working-memory and response-stimulus-intervals: A study in arithmetic. *Acta Psychologica*, *143*, 113–118.
- Uittenhove, K., & Lemaire, P. (2013b). Strategy sequential difficulty effects in Alzheimer patients: A study in arithmetic. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *35*, 83–89.
- Uittenhove, K., Burger, L., Tacconnat, L., & Lemaire, P. (2014). Sequential difficulty effects during execution of memory strategies in young and older adults. *Memory*, *23*(6), 806–816.
- Uittenhove, K., Poletti, C., Dufau, S., & Lemaire, P. (2013). The time course of strategy sequential difficulty effects: An ERP study in arithmetic. *Experimental Brain Research*, *227*(1), 1–8.
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait and Posture*, *16*, 1–14.
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders*, *23*(3), 329–342.

Expérience 4

Évolution des variations stratégiques chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers dans la tâche de Fitts

Dans cette quatrième expérience nous avons voulu étudier l'évolution des variations stratégiques dans la tâche de Fitts au cours du vieillissement pathologique. Les études menées dans le domaine de la cognition ont montré que l'altération des performances et les variations stratégiques étaient amplifiées chez les patients âgés présentant des déficits cognitifs légers (i.e., Mild Cognitive Impairments, MCI) et chez les patients souffrant de la maladie d'Alzheimer (i.e., Alzheimer Disease, AD). Ces études ont montré des différences entre les adultes âgés sains et les patients AD au niveau de la distribution, de l'exécution et de la sélection stratégiques (e.g., Arnaud, Lemaire, Allen, & Michel, 2008; Gandini, Lemaire, & Michel, 2009). Une altération des performances a également été observée chez les patients MCI ou AD dans des tâches sensori-motrices (e.g., (Amboni, Barone, & Hausdorff, 2013; Montero-Odasso et al., 2012; Montero-Odasso & Hachinski, 2014; Ott, Ellias, & Lannon, 1995). Dans les tâches de pointage, il a été montré que les changements liés à l'âge (i.e., ralentissement du mouvement, diminution de la fluidité du mouvement) étaient amplifiés chez les patients MCI et AD (e.g., Carrasco, Guillem, & Redolat, 2000; Jin H. Yan, Rountree, Massman, Doody, & Li, 2008). Cependant, l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement pathologique n'avait jamais été étudiée dans une tâche de pointage de Fitts.

Expérience 4 – Évolution des variations stratégiques chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers

Pour étudier cela, nous avons demandé à 11 adultes âgés sains (Healthy Older Adults, HOA) et 9 patients âgés présentant des déficits cognitifs légers (Cognitively Impaired Patients, CIP) d'effectuer une tâche de pointage de Fitts. Quatre niveaux de difficulté (ID) différents ont été utilisés (i.e., 3 ; 4 ; 5 et 6 bits), résultant à la fois de la manipulation de la largeur de la cible (i.e., 2.0 ; 1.6 ; 1.2 ; 0.8) et de la distance entre la position de départ et la cible (i.e., 8 ; 12 ; 16 ; 20). Les participants des deux groupes ont également effectué des tests neuro-psychologiques visant à évaluer le fonctionnement cognitif général, la vitesse de traitement de l'information (VTI) ou encore les FEs.

L'analyse des temps de mouvement (TM) a permis de montrer que quel que soit le niveau de difficulté de la tâche, les CIPs étaient toujours plus lents que les HOA. De plus l'analyse des fonctions d'efficacité (i.e., TM en fonction de l'ID) indiquait une variation de la pente de la loi de Fitts plus importante pour chez les CIPs que chez les HOA, avec un ralentissement de 41% chez les CIPs. Par ailleurs, les analyses médiationnelles suggèrent également que l'altération des FEs médatiserait la diminution des performances sensori-motrices dans la tâche de Fitts. La corrélation positive entre les FEs et la pente des participants confirme cette hypothèse. De manière intéressante, nos résultats ont également montré des différences liées à la pathologie dans l'utilisation des stratégies sensori-motrices.

Concernant le répertoire stratégique, nous avons observé que les deux groupes de participants utilisaient trois des quatre stratégies disponibles (one-shot, undershoot et progressive-deceleration). De plus, les HOA utilisaient moins de stratégies que les CIP (1.6 et 2.2 stratégies, respectivement) pour les IDs faciles (ID₃ et ID₄) alors que pour les ID difficiles (ID₅ et ID₆), les deux groupes utilisaient le même nombre de stratégies. Concernant la distribution stratégique, les analyses ont montré que les participants utilisaient majoritairement la stratégie one-shot et moins souvent la stratégie progressive-deceleration (la stratégie undershoot très peu utilisée – moins de

Expérience 4 – Évolution des variations stratégiques chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers

10% – a ensuite été retirée des analyses). Ainsi, de manière générale, il apparaissait que les participants utilisaient plus souvent la stratégie one-shot que la stratégie progressive deceleration pour les IDs faciles alors que pour les IDs difficiles, ils utilisaient aussi fréquemment les deux stratégies. Enfin, concernant l'exécution stratégique, les résultats ont montré que les HOA étaient plus rapides pour exécuter la stratégie one-shot (511 ms) alors qu'ils étaient aussi rapides pour exécuter les stratégies progressive-deceleration et undershoot (552 ms et 596 ms, respectivement). Les CIPs étaient plus rapides pour exécuter la stratégie one-shot (593 ms) que la stratégie progressive-deceleration (682 ms), alors qu'ils étaient plus lents pour exécuter la stratégie undershoot (842 ms). De plus, la différence entre les deux groupes était plus importante pour la stratégie la plus difficile (undershoot) que pour la stratégie de difficulté intermédiaire (progressive-deceleration) alors qu'elle était moins importante pour la stratégie la plus facile (one-shot).

En conclusion, nous avons montré comment les variations stratégiques évoluaient au cours du vieillissement pathologique dans le domaine sensori-moteur. Nos résultats ont montré des différences entre les HOA et les CIP au niveau du répertoire, de la distribution et de l'exécution stratégiques lorsqu'ils effectuaient une tâche de pointage de Fitts et suggèrent une forte implication des FEs.

Strategic variations in Fitts' task: Comparison of healthy older adults and cognitively impaired patients

Céline Poletti^{1,2}, Rita Sleimen-Malkoun², Leslie Marion Decker³, Frédérique Retornaz⁴,
Patrick Lemaire¹, & Jean-Jacques Temprado^{2*}

1. Aix Marseille Univ, CNRS et IUF, LPC, Laboratoire de Psychologie Cognitive, Marseille, France
2. Aix Marseille Univ, CNRS, ISM, Institut des Sciences du Mouvement, Marseille, France
3. Unité COMETE UMR 1075, Université de Caen Normandie, Inserm, Caen, France.
4. Centre Gérontologique Départemental, Marseille, France.

(In revision in : Frontiers in Aging Neuroscience)

Running Head: Strategic variations and cognitive decline

Number of words: 5295

Number of figures: 4

Corresponding author: Jean-Jacques Temprado, Institut des Sciences du Mouvement, Aix-Marseille Université, Faculté des Sciences du Sport, 163 Route de Luminy, BP 910, 13288 Marseille, Cedex. Phone: +33 4 91 17 22 72. Email: jean-jacques.temprado@univ-amu.fr.

Abstract

The present study aimed at investigating how healthy older adults and cognitively impaired patients differ in a discrete Fitts' aiming task. Four levels of task difficulty were used, resulting from the simultaneous manipulation of the size of the target and its distance from home position. We found that movement times followed Fitts' law in both healthy older adults and cognitively impaired patients, with the latter being significantly slower and more affected by increased task difficulty. Moreover, correlation analyses suggests that lower information processing speed and deficits in executive functions are associated with decline of sensori-motor performance in Fitts' task. Analyses of strategic variations showed that healthy older adults and cognitively impaired patients differed in strategy repertoire (which strategies they used), strategy distribution (i.e., how often they used each available strategy), and strategy execution (i.e., how quick they were with each available strategy). These findings further our understanding of how strategic variations used in a sensori-motor task are affected by cognitive impairment in older adults.

Key words: *Aging; Fitts' task; Sensori-motor strategies; Cognitive declines; Information processing speed; Executive functions.*

Introduction

Declines of cognitive (e.g., Salthouse, 1996; Bashore et al., 1997) and motor (e.g., Rey-Robert et al., 2012; Temprado et al., 2013) performance are widely used in the literature to assess the effects of aging in the neuro-behavioral system. However, qualitative changes (i.e., the strategies used to adapt to task constraints) may also provide functionally meaningful information about age-related alterations of brain and cognition. During the last decade, the effects of aging on strategic variations have been widely investigated in a variety of cognitive tasks (see Lemaire, 2010, 2015, for an overview). In this literature, a strategy is defined as “a procedure or a set of procedures used to achieve a higher level goal” (Lemaire & Reder, 1999, p. 365). Accordingly, Lemaire and Siegler (1995) proposed to distinguish between four main strategy dimensions, namely strategy repertoire (i.e., which strategies are used?), strategy distribution (i.e., how often each available strategy is used?), strategy execution (i.e., how quickly and accurately each strategy is applied?), and strategy selection (i.e., how do people choose among available strategies on each item?).

Recently, we have undertaken to extend this framework to the sensori-motor domain using the Fitts' rapid-aiming task (Poletti et al., 2015, 2016). We made this choice since control processes used during aiming movement in Fitts' task are representative of those used in several motor tasks (e.g., Abbs, Gracco, & Cole, 1984; Collins & Luca, 1993; Duysen & Van de Crommert, 1988; Van de Crommert, Mulder, & Duysens, 1998). It consists of performing rapid-aiming movements from a starting position toward a target, leading participants to adopt an optimal compromise between speed and accuracy. The width (W) and/or distance (D) of the target can be varied to modulate task difficulty (Fitts, 1954; Fitts & Peterson, 1964). In our previous studies, the different strategies used by participants were inferred from the analysis of

kinematic profiles of the aiming movements in the different task conditions (i.e., different index of difficulties, IDs). Specifically, on the basis of the type of sub-movement observed in the kinematic profile of the hand trajectory (i.e., no sub-movements, Type 1, 2, and 3 sub-movements), four different strategies were distinguished (i.e., the one-shot, overshoot, undershoot, and progressive-deceleration strategies, respectively) that participants used to reach the target (and to manage the speed-accuracy trade-off). When using the one-shot strategy, participants directly reached the target without making additional corrective sub-movements. When using the overshoot strategy, participants performed a movement that brought their arm after the target and then had to make a secondary corrective sub-movement by reversing direction to reach the target. When using the undershoot strategy, participants performed a movement that fall short before the target and had to make a secondary corrective sub-movement (a reacceleration) to reach the target. When using the progressive deceleration strategy, participants performed a movement that brought their arm near the target and then slowly approached the target, leading to a lengthening of the deceleration phase.

Based on this methodology, we showed that these kinematic patterns fulfill the currently accepted criteria to empirically distinguish among strategies, namely: (a) main effect of strategies on collected measures (e.g., performance), (b) interaction effects between the strategy factor and one or several factors on strategy use and strategy performance, and (c) age-related differences in strategy use and performance (see Poletti et al., 2015). We empirically documented the usefulness of a strategy approach to further our understanding of processes underlying age-related changes in sensori-motor performance. For instance, we found that older adults used fewer strategies than young adults, thereby suggesting aging changes participants' strategy repertoire. With respect to strategy distribution, we found that older adults predominantly used strategies that involve

corrective sub-movements (i.e., the undershoot and progressive deceleration strategies), whereas young adults preferred the strategy without corrective sub-movements (i.e., the one-shot strategy). Finally, our results showed that older adults were slower than young adults whatever the strategies they used. Therefore, we concluded that, on the one hand, age-related differences in performance are associated with strategies that young and older participants used to perform the task (Poletti et al., 2015), and on the other hand, the alterations of executive functions (EFs), combined with greater processing demands to perform the task, resulted in age-related differences in strategy repertoire and strategy selection (Poletti et al., 2016).

Our previous studies were carried out with healthy young and older participants. However, it has been pointed out in the literature that performance declines and strategic variations were dramatically affected in persons with degenerative disorders, such as patients suffering from mild cognitive impairment or Alzheimer's disease (AD). In the cognitive domain, several studies used the strategy perspective to compare performance' declines during healthy and cognitively impaired older adults (e.g., Duverne et al., 2003; Gandini et al., 2009). For instance, during a simple subtraction problem solving task, Arnaud et al. (2008) have shown that healthy older adults (HOA) and AD patients used the same two strategies (i.e., retrieval and non-retrieval strategies) with equal proportions, but differed in strategy execution (i.e., AD patients were slower than HOA, especially on harder problems). However, in a numerosity estimation task, Gandini et al.'s (2009) have shown that HOA and AD patients differed both in the use and in the execution of the different numerosity estimation strategies. Indeed, AD patients used the easier visual estimation strategy more often than HOA (75% vs. 62%), and they were impaired in strategy execution when using the harder anchoring strategy.

Mild cognitive impairment and AD patients also currently exhibit significant deficits in their motor performance (Hirono et al., 1996; Ott et al., 1995). Motor alterations resulting from cognitive impairments have been predominantly investigated in locomotion (Amboni et al., 2013; Montero-Odasso et al., 2012; Montero-Odasso, & Hachinski, 2014). In upper-limb movements, previous research has suggested that age-related changes in motor behavior (e.g., movement slowing, decreased kinematic smoothness; see Yan, 2000; Yan et al., 1998, Yan et al., 2000) are exacerbated in patients suffering from mild cognitive impairment or AD (Carrasco et al., 2000; Yan et al., 2008). Yan et al. (2008) reported that participants with mild or severe cognitive impairments show reduction in the smoothness, the coordination, and the consistency of handwriting movements, suggesting that compromised motor performance could be one of the behavioral manifestations of cognitive impairments (see Eggermont et al., 2010; Maquet et al., 2010; Mirelman et al., 2014; Scarmeas et al., 2004 for supporting this hypothesis). However, to our knowledge, the effects of cognitive impairments on strategic variations of behavior in aiming tasks have never been investigated. The present study addressed this issue by comparing strategic variations in healthy and cognitively impaired older adults, in a Fitts' task. Since EFs and processing speed are seriously affected in cognitively impaired patients (CIP), one can expect at least an amplification of these variations generally observed in HOA. Indeed, it has been suggested that EFs are strongly involved in Fitts' task, especially during the deceleration phase of the movement (see Rey-Robert et al., 2012; Sleimen-Malkoun et al., 2013; Temprado et al., 2013).

To test this general hypothesis, we first determined whether Fitts' law was respected in both groups of participants, as it is a prerequisite to analyze strategic variations. Accordingly, we examined the efficiency function (i.e., movement times as a function of the difficulty of the task)

in HOA and in CIP. We expected to observe longer movement times (MTs) and steeper slopes in CIP than in HOA. Moreover, we wanted to examine the role of EFs and information processing speed (IPS) on participants' performance by correlating participants' slopes with scores on specific neuropsychological tests. Secondly, we analyzed group differences in strategic variations. Concerning strategy repertoire, we predicted that CIP would use fewer strategies than HOA, starting from lower IDs. Additionally, we expected that HOA and CIP would exhibit different strategy preferences and strategy distributions. As a result of declines in EFs and IPS, we predicted that CIP would be more dependent on the visually guided deceleration phase, which would lead them to use most frequently strategies with sub-movement corrections (i.e., more than HOA). Also, for both groups, strategy selection should be influenced by task difficulty. Finally, we analyzed strategy performance as a function of task difficulty in each group. We predicted that group differences in MTs would depend on the strategy used and would be larger for strategies with sub-movement corrections.

Method

Participants. Twenty-one right-handed participants (11 HOA; *mean age = 73.6 years; age range: 66-89* and 10 CIP; *mean age = 81.7 years; age range: 65-90*), voluntarily participated to the study. HOA lived independently and were recruited from the community of Marseille, whereas CIP were on long-term stay nursing home residents at the *Centre Gérontologique Départemental* of Marseille. All participants had no history of neurological (e.g., Parkinson's disease, stroke) or psychiatric disorders (e.g., schizophrenia, bipolar disorder), or alcohol and substance abuse. Moreover, they had no uncorrected visual impairment and did not suffer from any upper-limb dysfunctions or pain that could affect the achievement of the task. They were unfamiliar with the task and the apparatus.

We collected information about each participant's *socio-demographic characteristics* (i.e., age, gender, and years of formal education). Then, to ensure the construct group consistency all participants completed a battery of questionnaires assessing their *functional status*. The battery consisted of the Katz's Index of Independence in Activities of Daily Living Scale-6 items (Katz, 1983), the Lawton's Instrumental Activities of Daily Living Scale-4 items (Lawton & Brody, 1969), the life-space mobility (UAB Life-Space Assessment; Baker et al., 2009), the self-reported falls in the past year, and the degree of fear of falling (French version of the Falls Efficacy Scale-International; Tinetti et al., 1990). In addition, they all underwent neuropsychological testing to assess *depression* (Short Form of the Geriatric Depression Scale; Sheikh & Yesavage, 1986), *general cognitive function* (Montreal Cognitive Assessment; Nasreddine et al., 2005), *processing speed* (Digit Symbol-Coding, and Symbol Search, subtests of the Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition; Wechsler, 1997), *episodic memory* (Free and Cued Selective Reminding Test; Buschke, 1984), *working memory* (Digit Span subtest of the Wechsler Adult Intelligence Scale-Third, Forward and Backward; Wechsler, 1997), *verbal fluency* (Category and Letter Fluency Tests; Robert et al., 1998), *inhibition* (Victoria Stroop Test; Bayard et al., 2011), and *cognitive flexibility* (Trail Making Test; Vazzana et al., 2010).

We ensured that none of the HOA obtained a score lower than 26 on Montreal Cognitive Assessment, lower than 6 on Index of Independence in Activities of Daily Living Scale, lower than 4 on Instrumental Activities of Daily Living Scale, and higher than 6 on Short Form of the Geriatric Depression Scale, in order to be included in the current study. Sociodemographic characteristics, self-reported functional status, and neuropsychological scores are shown in Table 1. As can be seen by the p-value of the t-test, the two groups are significantly different for the sociodemographic characteristics (except for gender, $p > .05$), the functional status (except for

Index of Independence in Activities of Daily Living Scale, $p>.05$), and the neuropsychological status (except for the Short Form of the Geriatric Depression Scale, $p>.05$). After a presentation of the experiment, each participant signed an informed written consent, approved by the local ethic committee of Aix-Marseille University, in accordance with the ethical standards laid down in the Declaration of Helsinki.

Table 1. Sociodemographic characteristics, self-reported functional status and neuropsychological scores for HOA and CIP.

	HOA	CIP	p-value
<u>Sociodemographic characteristics</u>			
Age (years)	73.6 ± 6.4	81.7 ± 9.0	$p<.05$
Number of men (women)	1 (10)	2 (8)	<i>ns</i>
Years of education	13.0 ± 2.7	7.6 ± 3.2	$p<.001$
<u>Functional status</u>			
Index of Independence in Activities of Daily Living ¹	6.0 ± 0	5.6 ± 1.0	<i>ns</i>
Instrumental Activities of Daily Living Scale ²	4.0 ± 0	3.1 ± 0.9	$p<.01$
Life-space mobility	96.2 ± 17.0	46.3 ± 17.3	$p<.001$
Self-reported falls in the past year	0.4 ± 0.7	2.0 ± 2.0	$p<.05$
Fear of falling	19.6 ± 1.8	30.4 ± 13.7	$p<.01$
<u>Neuropsychological status</u>			
<u>Depression</u>			
Short Form of the Geriatric Depression Scale ³	2.7 ± 1.4	4.6 ± 4.2	<i>ns</i>
<i>General cognitive function</i>			
Montreal Cognitive Assessment ⁴	28.6 ± 1.2	24.2 ± 3.5	$p<.001$
<i>Information processing speed</i>			
Digit Symbol-Coding ⁵	64.6 ± 11.2	37.2 ± 8.6	$p<.001$
Symbol Search ⁶	28.1 ± 5.0	16.9 ± 3.8	$p<.001$
<i>Episodic memory</i>			
Free and Cued Selective Reminding Test - Immediate free recall ⁷	35.8 ± 5.9	25.4 ± 7.1	$p<.01$
Free and Cued Selective Reminding Test - Delayed free	13.8 ± 1.5	10.5 ± 3.6	$p<.05$

recall⁷

<i>Working memory</i>			
Digit Span-Forward ⁸	11.3 ± 1.6	8.5 ± 1.6	<i>p</i> <.001
Digit Span-Backward ⁸	8.3 ± 2.0	6.0 ± 1.1	<i>p</i> <.01
<i>Verbal fluency</i>			
Category fluency ⁹	24.4 ± 5.2	15.7 ± 4.6	<i>p</i> <.001
Letter fluency ⁹	17.6 ± 2.7	11.5 ± 2.6	<i>p</i> <.001
<i>Inhibition</i>			
Victoria Stroop Test (I-C/C) ¹⁰	1.2 ± 0.4	2.3 ± 1.5	<i>p</i> <.05
<i>Cognitive flexibility</i>			
Trail Making Test ¹¹	16.9 ± 10.1	74.7 ± 41.6	<i>p</i> <.001

Note. ¹ Katz's Index of Independence in Activities of Daily Living Scale, ² Lawton's Instrumental Activities of Daily Living Scale, ³ 0-4: normal, 5-9: mild depression, 10-15: more severe depression, ⁴ A score of 26 or above is considered normal, ⁵ Number of items correctly completed within the time limit of 120 seconds, ⁶ Number of correct minus incorrect responses within the time limit of 120 seconds, ⁷ Number of items recalled, ⁸ Number of items (digit lists) correctly repeated, ⁹ Number of words correctly produced, ¹⁰ Time needed to perform Victoria Stroop Test Interference minus the time needed for Victoria Stroop Test Color divided by the time needed for Victoria Stroop Test Color, ¹¹ Time needed to perform Trail Making Test (part B) minus the time needed for Trail Making Test (part A).

Apparatus and Procedure. Participants were comfortably seated on a chair at a height-adjusted table, with their dominant hand resting on their lap and their non-dominant forearm resting on a USB digitizer (Wacom Intuos4 XL; 1024 × 768 pixel resolution) positioned on the tabletop right in front of them, in portrait orientation. The digitizer was connected to a portable PC (Dell, Latitude-D420). Using a hand-held non-marking stylus (Wacom, Generation 2 tip sensor), participants were asked to perform discrete rapid-aiming movements, from an initial home position towards a target. The home position, represented as a red circle of 0.5 cm diameter, was always aligned with the center of the target, which was represented by a red horizontal rectangle (17.4 cm x various width values). Home and target positions were printed on a white paper sheet and inserted under the transparent plastic film cover of the digitizer. Aiming movements involved shoulder flexion and elbow extension with full stops on home position

(movement initiation) and on target position (movement termination). To avoid trunk compensations, participants were required to keep their belly pressed against the table.

In this experiment, the task's ID was scaled via the manipulation of both the size of the target and its distance from home position. Four ID levels, ranging from 3 to 6 bits by increments of 1 bit were used. The different ID conditions are detailed in Table 2. The order of presentation of the conditions was randomized in-between participants.

Before each trial, participants were asked to hold still the stylus on the home position until they heard a beep. They were free to initiate their movements at any time following the onset of the beep and were informed that it was not necessary to minimize reaction times. However, they were firmly instructed to keep optimal speed-accuracy trade-off that is “to move as fast as possible from the home position to the target position and to stop on it”. Before each ID condition, participants were allowed to complete three (unrecorded) familiarization trials. Then, they were requested to perform four blocks of 16 trials each, for a total of 64 trials. To prevent for fatigue, a short rest was allowed between each trial and each block. For each ID condition, the allowed error rate was 12.5% (maximum 2 trials out of 16). If more than two trials were missed, the missed trials were repeated at the end of the condition.

Table 2. Distance and width parameters characterizing ID conditions.

ID condition (bits)	Distance (cm)	Width (cm)
3	8	2.0
4	12	1.6
5	16	1.2
6	20	0.8

Variable and data processing. The pen-tip raw displacement data were recorded using a customized software (ICE) developed at the laboratory (Institute of Movement Sciences, Marseille) at a sampling frequency of 250 Hz. The recorded data were filtered using a second-order dual pass (no phase-lag) Butterworth filter with a cut-off frequency of 10 Hz. First, second, and third derivatives of displacement (velocity, acceleration, and jerk, respectively) were then computed in MATLAB (MathWorks, v.7.5.0 R2007b). Movement onset and offset were determined on the basis of velocity profiles using the *optimal algorithm* of Teasdale et al. (1993). The critical velocity threshold was obtained by multiplying peak velocity by 0.05.

First, this procedure allowed us to calculate for each trial, in each condition MTs that correspond to the times to reach the target. MTs were then used to calculate *efficiency functions*. Namely, we analyzed the ID-MT relationships using simple linear regression models carried out on mean group values. Second, to check whether the prescribed IDs were respected or not (Sleimen-Malkoun et al., 2012), the effective target width (We) was calculated from the standard deviation of movement end points (Mackenzie, 1992) using the following formula: $We = 2 * 1.96 * SD_A$, where SD_A is the standard deviation of movement amplitude (i.e., the effective distance), and 1.96 is the boundary of a normal distribution at 95%. Then, we compared the distributions of movement end points (centered on mean movement amplitude and bounded by calculated We) and the prescribed ones (centered on target distance and bounded by target

edges). These comparisons yielded no significant statistical differences ($ts < 1$). As a consequence, the prescribed ID levels were used for all participants.

Kinematic analyses were also carried out. Specifically, primary and secondary sub-movements were identified by following a procedure currently used in the literature and previously used by Poletti et al. (2015) in a comparable study. The primary sub-movement was characterized by a rapid movement that brings the limb near the target and the optional secondary sub-movement corresponded to an on-line control phase during which the target is approached (Woodworth, 1899). Then, following Meyer et al. (1988), the end of the *primary sub-movement* was defined as the moment of time when one of the following three events occurred after the velocity reaches its peak: (a) the velocity crossed zero, changing from positive to negative, (b) the acceleration crossed zero, changing from negative to positive, or (c) the jerk crossed zero, changing from positive to negative. This procedure enabled us to calculate kinematic variables that were related to the type of secondary sub-movement identified (see Dounskaia et al., 2005). Each secondary sub-movement has been used to distinguish types of strategies.

Three of the four available strategies that participants used to reach the target have been detected in this experiment. The undershoot strategy included re-acceleration towards the target; the progressive-deceleration strategy referred to an increase of the deceleration phase, and the one-shot strategy consisted in reaching the target with no corrections. The overshoot strategy, previously identified in Poletti et al's study, and corresponding to corrections for overshooting was never used by any of the participants in this study.

Results

All trials containing errors (9.6%) were removed (analyses percentages of errors revealed only a main effect of ID, $F(3,60)=14.11$, $MSe=68.34$, $n^2p=0.41$). Moreover, one patient was excluded from the analyses since her performance did not follow Fitts' law. Unless otherwise noted, all reported effects are significant with $p<.05$.

Group differences in movement times. To check if Fitts' law was respected, MTs were first analyzed¹ with a two-factor Group (HOA, CIP) x ID (3, 4, 5, 6 bits) ANOVA, with repeated measures on the last factor. Then, to determine the efficiency function, ID-MT relation was analyzed using a simple linear regression model carried out on mean group values. The slopes of the different efficiency functions estimated information-processing capacities in each age group (in bits/s). Student's *t*-statistic was used to test for significant group differences in slopes.

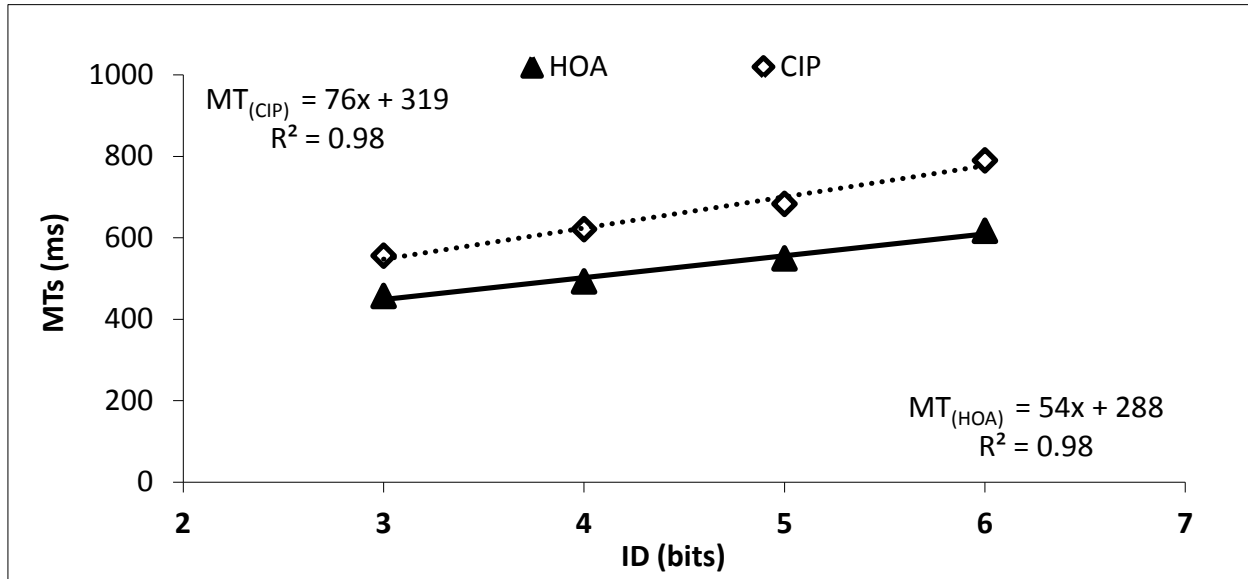
MTs were significantly larger in CIP than in HOA (663 ms vs. 529 ms; $F(1,18)=16.55$, $MSe=21308$, $n^2p=0.48$) and increased with ID scaling (506 ms, 557 ms, 616 ms, and 704 ms; $F(3,54)=116.90$, $MSe=1215$, $n^2p=0.87$). The Group x ID interaction was significant, $F(3,54)=4.83$, $MSe=1215$, $n^2p=0.17$, resulting from larger increase in MTs as a function of increased IDs in CIP (556 ms, 621 ms, 683 ms, and 790 ms, respectively) than in HOA (457 ms, 493 ms, 549 ms, and 617 ms, respectively).

Efficiency functions resulting from linear fittings of the ID-MT relation in each group, along with corresponding equations, are displayed in Figure 1. Fitts' law was found to account for at

¹ Analyses examining group differences in MTs were also performed with age and years of formal education factors as a covariate, and the same results came out significant.

least 96% of changes in MTs. CIP slope's was larger than that of HOA (76 and 54, respectively; $t = 2.53, p < .05$). This result showed a multiplicative slowing in CIP, with a slowing rate of 41%.

Figure 1. Efficiency functions for MTs in HOA (black triangles) and CIP (open diamonds).



Relationship between the slopes of Fitts' law and scores on neuropsychological tests. We conducted Pearson partial correlation, controlling for age group and years of formal education, to examine the role of EFs and IPS on participants' performance. Table 3 summarizes partial correlations between mean participants' slopes and scores on the following neuropsychological tests: (a) Trail Making Test, (b) Victoria Stroop Test, (c) Digit Symbol Coding Test, and (d) Symbol Search Test. Participants' slopes were positively correlated with the Victoria Stroop Test, and negatively correlated with the Digit Symbol Coding Test and Symbol Search Test. In this table, we included also one composite measure (i.e., Index) of EFs and one composite measure IPS. Composite measures were calculated by averaging the z scores of Trail Making Test and Victoria Stroop Test performance on the one hand, and of Digit Symbol Coding Test and Symbol Search Test performance on the other hand, for EFs and IPS, respectively. Higher index of EFs

and lower index of IPS corresponded to a decreased performance whereas lower index of EFs and higher index of IPS corresponded to an increased performance. Participants' slopes were positively correlated with index of EFs, as increased scores in EF tests were linked to a poorer performance. Moreover, they were negatively correlated with index of IPS, as decreased scores in IPS tests were linked to a poorer performance.

Table 3. Correlation matrix for the full sample (n=20) in participants' slopes.

Variables	1	2	3	4	5	6	7
1 – Slope	1.00	.45	.50*	-.61**	-.54*	-.67**	.62**
2 – Trail Making Test		1.00	.17	-.29	-.42	-.42	.70***
3 – Victoria Stroop Test			1.00	-.29	-.44	-.43	.83***
4 – Digit Symbol Coding Test				1.00	.46	.84***	-.38
5 – Symbol Search Test					1.00	.87***	-.56*
6 – Index of IPS						1.00	-.56*
7 – Index of EFs							1.00

Note. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$. Index was calculated as follows: Index of IPS = mean of scores z of Digit Symbol Coding Test and Symbol Search Test performance, Index of EFs = mean of scores z of Trail Making Test and Victoria Stroop Test performance.

In sum, the present results showed that MTs followed Fitts' law in both HOA and CIP. Moreover, correlation analyses suggest that slower IPS and altered EFs are associated with poorer sensori-motor performance in the Fitts' task.

The role of executive functions and information processing speed in group differences in slopes. To assess mediational effects of executive control and IPS between groups and slopes, we compared the proportion of variance accounted for by group (as reflected in increments in R^2 corresponding to squared semi-partial correlations) before and after the variance associated with a composite measure of EFs and IPS were controlled. For example, the influence of variations in

EFs on effects of group on slopes can be determined by comparing the proportion of variance associated with group before and after index of EFs was controlled.

Examination of the values (see Table 4) revealed that R^2 associated with group for slopes was .35, and was reduced to .08 after controlling EFs. Thus, the group-related variance was reduced by 77% (i.e., [R^2 with age alone – R^2 partial]/ R^2 with age alone); *Sobel test* = 2.41, $p < .05$). Group effect was no longer significant after controlling for index of EFs, $t(17) = 1.46$, $p = .16$. Additional analyses showed that R^2 associated with group was reduced to .18 after controlling index of IPS. Thus, the group-related variance was reduced by 49% (*Sobel test* = 2.01, $p < .05$), but group effect was still significant after controlling for index of IPS, $t(17) = 2.19$, $p = .04$.

Table 4. *Percent attenuation of group variance in slope after control of executive functions and processing speed measures.*

	R^2 (%)	Percent attenuation
Group	35	-
Group IPS	18	49
Group EFs	8	77

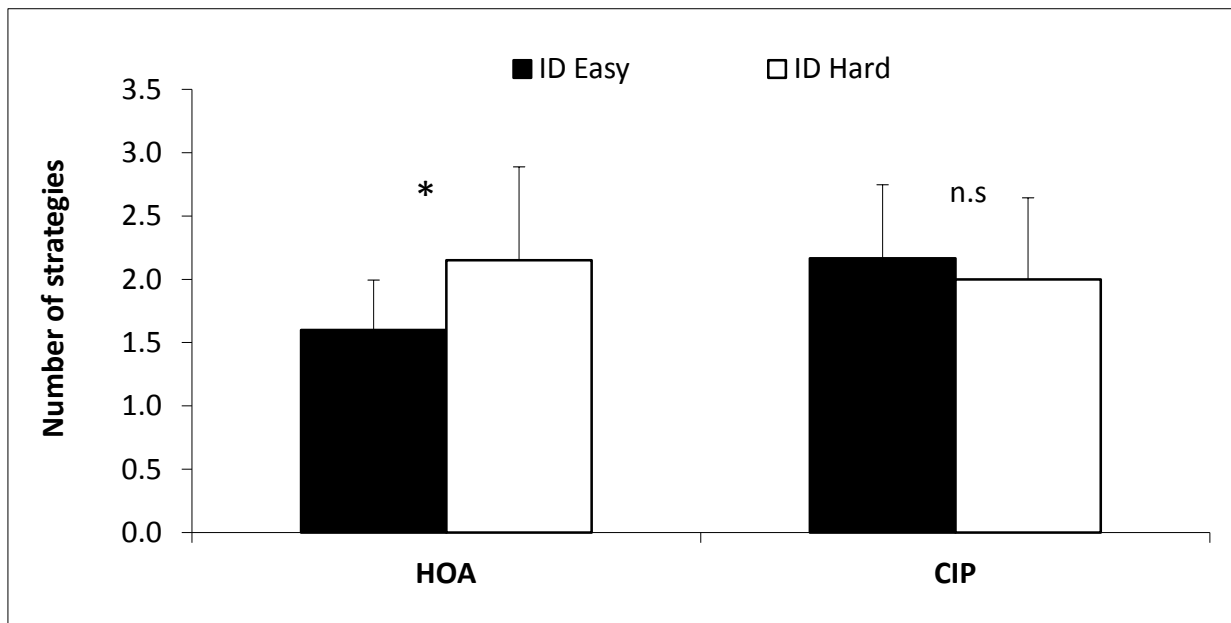
In sum, group differences in slopes can be accounted for entirely by group-related decrease in efficiency of EFs, as EFs mediated the relation between groups and slopes.

Group differences in strategy repertoire. Examination of kinematic profiles revealed that both HOA and CIP used three strategies (i.e., one-shot, undershoot, and progressive-deceleration strategies). The overshoot strategy, which is generally rarely used (cf., Poletti et al., 2015, 2016), was never used by any participant of the two groups. In the subsequent analyses, in order to simplify the presentation of data and to increase the number of observations in each condition, we combined the easier and harder IDs respectively, hence yielding two different levels of difficulty:

“easy” (3 and 4 bits) and “hard” (5 and 6 bits). Also, one HOA participant was excluded for presenting outliers values exceeding the mean by more than two standard deviations.

To examine group differences in strategy repertoire², mean number of strategies used by individuals were analyzed with a two-factor ANOVA: Group (2: HOA, CIP) x Difficulty (2: easy, hard), with repeated measures on the last factor. The Group x Difficulty interaction was significant ($F(1,36)=10.04$, $MSe=0.24$, $n^2p=0.22$). Planned comparisons showed that, HOA used a smaller number of strategies than CIP for easier IDs (1.6 vs. 2.2, $F(1,36)=7.16$; see Figure 2), whereas both groups used the same number of strategies for harder IDs (2.2 vs. 2.0, $F<1$). This resulted from the fact that HOA increased the number of strategies used as a function of difficulty ($F(1,36)=12.48$), but not CIP ($F=11.03$, $p>.05$).

Figure 2. Number of strategies used in HOA and CIP as function of difficulty.



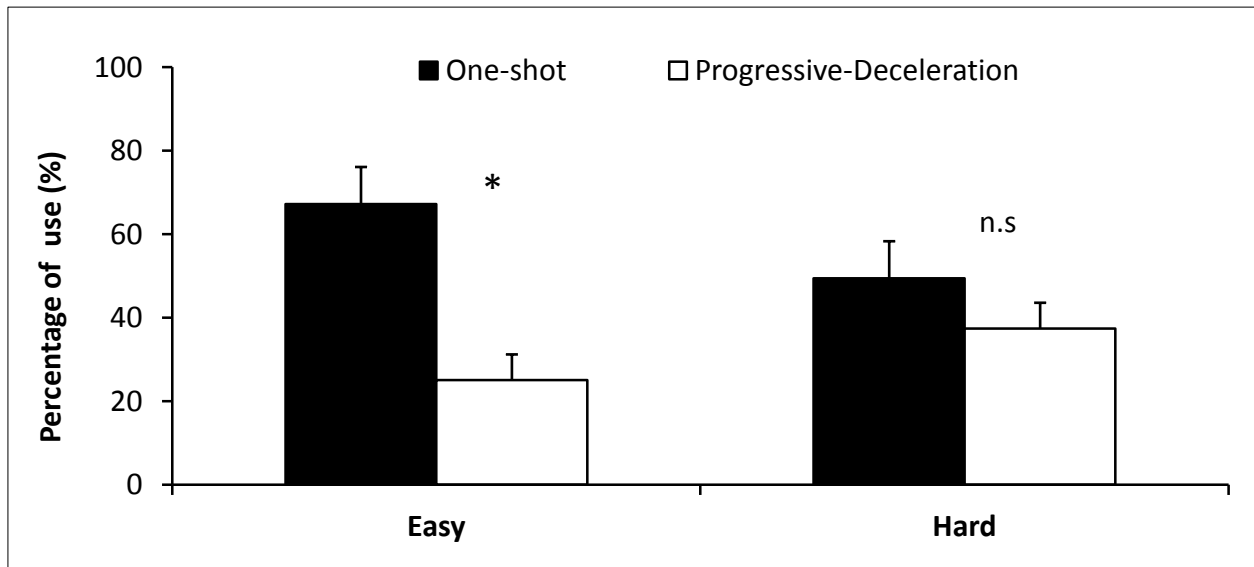
Note. * $p<.05$; n.s = no significant

² All the analyses examining group differences in strategies were also performed with age and years of formal education factors as a covariate, and the same results came out significant.

Group differences in strategy distribution. To analyze group differences in strategy distribution, a three-way ANOVA (Group x Difficulty x Strategy), with repeated measures on Difficulty (2: easy, hard) and Strategy (2: one-shot, progressive-deceleration), was carried out on mean percentages of use of the two most often used strategies. The undershoot strategy, which was used on only 10% of trials, was excluded from this analysis to break the dependence between cells. On average, participants used the one-shot strategy (58%) more often than the progressive-deceleration strategy (32%).

As shown in Figure 3, analyses also revealed a significant Strategy x Difficulty interaction ($F(1,17)=26.95$, $MSe=159.8$, $n^2p=0.61$). Planned comparison showed that participants used more frequently the one-shot strategy than the progressive-deceleration strategy (67% vs. 25%, $F(1,17)=23.86$,) on easier trials, and these two strategies equally often on harder trials (49% vs. 37%, $F=1.24$, $p>.05$).

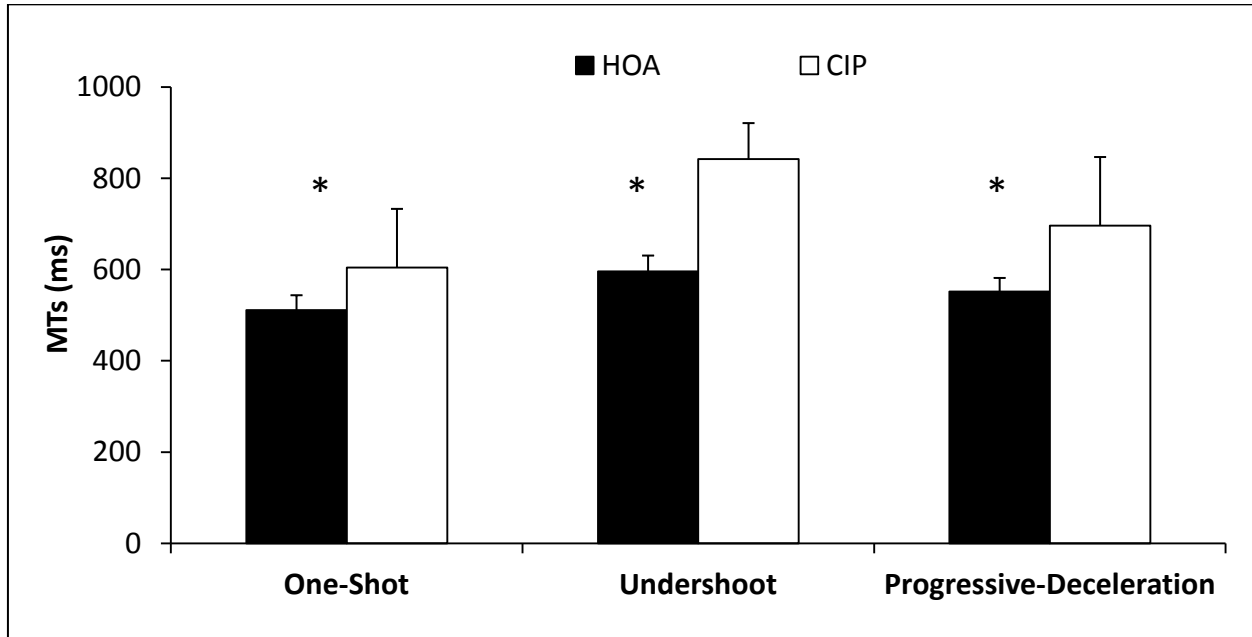
Figure 3. Mean percentages of the one-shot and progressive deceleration strategies as function of task difficulty.



Note. * $p<.001$; n.s = no significant

Group differences in strategy execution. To analyze group differences in strategy execution, a two-way ANOVA (Group x Strategy), with repeated measures on the last two factors was carried out on MTs. As can be seen in Figure 4, analyses of MTs revealed that HOA were faster than CIP (553 ms vs. 706 ms; $F(1,17)=20.46$, $MSe=16225$, $n^2p=0.55$). A main effect of strategy was found ($F(2,34)=62.06$, $MSe=2160$, $n^2p=0.79$). Pairwise comparisons revealed that participants were faster with the one-shot strategy than with the progressive-deceleration strategy ($F(1,17)=58.73$), or than with the undershoot strategy ($F(1,17)=84.77$). Also, participants were faster with the progressive-deceleration strategy than with the undershoot strategy ($F(1,17)=36.74$). The Group x Strategy interaction was also significant ($F(2,34)=15.70$, $MSe=2160$, $n^2p=0.48$). Planned comparisons showed that HOA were the fastest with the one-shot strategy (511 ms). They were equally fast when using the undershoot and the progressive-deceleration strategies (596 ms and 552 ms, respectively). CIP were the fastest with the one-shot strategy (593 ms), and they were the slowest with the undershoot strategy (842 ms), the progressive-deceleration strategy being in the middle (682 ms). Although HOA were faster than CIP whatever strategy they used ($F_s > 9.82$), differences between the two groups were the largest with the undershoot strategy (246 ms) and with the progressive-deceleration strategy (130 ms); they were the smallest with the one-shot strategy (82 ms).

Figure 4. Mean MTs in HOA and CIP while using the one-shot, undershoot, or progressive-deceleration strategy.



Note. * $p < .05$

Discussion

The present study aimed at determining whether group differences in strategic variations might explain, at least partly, differences in sensori-motor performance between individuals with cognitive impairments and HOA. In the following, we discuss our findings with regards to observed group differences and their possible underlying processes.

Group differences in performance. As a prerequisite, we first assessed quantitative changes associated with normal and pathological aging effects on MTs and efficiency functions in Fitts' aiming task. Preliminary analyses showed group differences in all neuropsychological tests that were administered (except for the test assessing depression). Given that IPS and EFs are both involved in this Fitts' task, and that HOA and CIP differed on tests assessing these functions, it can be hypothesized that they could have contributed to the emergence of group differences.

The CIP showed longer MTs than the HOA. These results are consistent with those reported by Goldman et al. (1999) and Yan et al. (2008). Analyses of the slopes of efficiency functions revealed steeper slope in CIP than in HOA, thereby suggesting decreased information processing rates of about 41% in CIP relative to HOA. According to our previous studies comparing young and older adults in the theoretical context of information theory (e.g., Poletti et al., 2015; Temprado et al., 2013), these results suggest that deficits in EFs mediate the observed effects of cognitive impairment on quantitative performance in Fitts' task. Correlation analyses showing that participants' slopes were positively correlated with the composite measure of EFs is consistent with this hypothesis. Most interesting and original in this study, analyses of strategic variations provide important and novel insights on the underlying mechanisms responsible for changes in motor behavior in CIP.

Group differences in strategic variations. Our results showed that the number of strategies differed between groups of participants and depended upon trial difficulty. Specifically, HOA used fewer strategies on lower IDs relative to higher IDs. In contrast, CIP used an equal number of strategies for both lower and higher IDs. That is, HOA adults were able to focus on a smaller strategy repertoire (and inhibit most cognitively demanding strategies, those requiring corrective sub-movements) on lower IDs and increase the number of strategies on higher IDs. In contrast, CIP used all types of strategies on both lower and higher IDs. This suggests that they may have been unable to focus on using the strategies with no-corrective sub-movements (e.g., one-shot strategy) and to inhibit most demanding available strategies including corrective sub-movements (e.g., progressive-deceleration). Consistent with this, CIP used the progressive-deceleration strategy more often than HOA on lower IDs. One possibility is that given their decreased EFs, CIP were unable to inhibit strategies with corrective sub-movements like the progressive-

deceleration on lower IDs in order to focus on strategies like one-shot that are easy to execute on lower IDs (and efficient). This interpretation is suggested by participants' performance on neuropsychological tests that showed deficits in EFs of CIP (see Diamond, 2013 for converging evidence). ANOVA on mean number of strategies using index of EFs as covariates revealed that the effect of group was no longer significant after statistical control of EFs.

As in our previous studies (see Poletti et al., 2015, 2016), in the present experiment, participants used three different strategies (i.e., the one-shot, undershoot and progressive-deceleration strategies). We expected to observe: a) more frequent use of strategies involving sub-movements, in particular for higher IDs and, b) a difference between HOA and CIP in the use of corrective sub-movements' strategy due to declines of EFs and IPS in the latter group. Surprisingly however, all participants favored the strategy without sub-movement (i.e., the one-shot strategy) over the strategy involving sub-movements (i.e., the progressive-deceleration strategies). This result could be seen as inconsistent with observations reported in other studies that is, more dependence on the cognitively guided deceleration phase, which leads elderly people to favor strategies including corrective sub-movements (Pratt et al., 1994; Poletti et al., 2015). This discrepancy might result from the chosen way to scale task difficulty in the different studies. Indeed, in the present experiment, ID was increased by manipulating both the size and the distance of targets, yielding task conditions with lower accuracy constraints than those used in other studies where only one of the target's properties was manipulated at a time (see Poletti et al., 2015). However, despite the increased use of the one-shot strategy, our results were consistent with our predictions concerning the effect of ID and the effect of cognitive impairments on sub-movement strategy use. Indeed, with increasing task difficulty, participants tended to use more often the strategy involving corrective sub-movements. This choice reflected the emphasis on

response accuracy and, likely more dependence on executive/cognitive control of movement execution when the task becomes difficult. Conversely, when the task was easier, participants were more able to calibrate the initial impulse of their movement and then placed more emphasis on response speed. It is noteworthy that the dominance of the one-shot strategy was observed for the HOA, while participants with cognitive impairments tended to use the one-shot equally often as the progressive-deceleration strategy. One can speculate that this observation is suggestive of more deficient impulse control processes in CIP. As expected, the two-way ANOVA (Group x Difficulty) showed that CIP were shorter in the percentage covered in the primary sub-movement relative to MTs for both ID conditions compared to HOA ($F > 4.58$).

Another set of interesting findings observed in the present study concerns strategy execution. To analyze execution, we classified the strategies as function of their presumed difficulty, with the most difficult strategy to execute being the one requiring longer MTs. Accordingly, our data revealed that the different strategies used by HOA and CIP to accomplish this Fitts' task differed in relative difficulty. First, we found that the hierarchy of relative strategy difficulty was different in HOA and CIP. Indeed, HOA were the fastest with the one-shot strategy, and they were equally fast when using the undershoot and progressive-deceleration strategies. Moreover, CIP were the fastest with the one-shot strategy and the slowest with the undershoot strategy, the progressive-deceleration strategy being in-between. In addition, we observed that group differences were larger for undershoot strategy than for the one-shot strategy. This result is consistent with previous research investigating strategy execution in young and older adults (Poletti et al., 2015; 2016). Indeed, presumably, when participants used the undershoot strategy more executive processes were involved in the execution, leading CIP to be more impaired in their motor performance.

Conclusion and perspectives

Overall, the present study documented changes in strategic behaviors underlying differences in HOA and CIP performance in Fitts' task. Our findings demonstrated the existence of significant groups differences in strategy repertoire, strategy distribution, and strategy execution. These findings suggest a critical role of EFs in this type of task. Interestingly, the strategic variations observed in the present study seem to follow general and common principles as in the cognitive domain. The origins of these commonalities deserve further investigations.

References

- Abbs, J. H., Gracco, V. L., & Cole, K. J. (1984). Control of multimovement coordination: sensorimotor mechanisms in speech motor programming. *Journal of Motor Behavior*, *16*(2), 195–231. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14713665>
- Amboni, M., Barone, P., & Hausdorff, J. M. (2013). Cognitive contributions to gait and falls: evidence and implications. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, *28*(11), 1520–1533. doi:10.1002/mds.25674.
- Arnaud, L., Lemaire, P., Allen, P., & Michel, B. F. (2008). Strategic aspects of young, healthy older adults', and Alzheimer patients' arithmetic performance. *Cortex*, *44*, 119–130. doi:10.1016/j.cortex.2006.03.001.
- Auger, C., Demers, L., Gélinas, I., Routhier, F., Jutai, J., Guérette, C., & Deruyter, F. (2009). Development of a French-Canadian version of the Life-Space Assessment (LSA-F): content validity, reliability and applicability for power mobility device users. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, *4*(1), 31–41. doi:10.1080/17483100802543064.
- Baker, P. S., Bodner, E. V, & Allman, R. M. (2003). Measuring life-space mobility in community-dwelling older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, *51*(11), 1610–1614.
- Bashore, T., Ridderinkhof, K., & van der Molen, M. (1997). The decline of cognitive processing speed in old age. *Current Directions in Psychological Science*, *6*, 166–169.
- Bayard, S., Erkes, J., Moroni, C., & Collège des Psychologues Cliniciens spécialisés en Neuropsychologie du Languedoc Roussillon. (2011). Victoria Stroop Test: Normative data in a sample group of older people and the study of their clinical applications in the assessment of inhibition in Alzheimer's disease. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *26*(7), 653–661. doi:10.1093/arclin/acr053.
- Buschke, H. (1984). Cued recall in amnesia. *Journal of Clinical Neuropsychology*, *6*(4), 433–440.
- Carrasco, M. C., Guillem, M. J., & Redolat, R. (2000). Estimation of short temporal intervals in Alzheimer's disease. *Experimental Aging Research*, *26*(2), 139–51. doi:10.1080/036107300243605.
- Collins, J. J., & De Luca, C. J. (1993). Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Experimental Brain Research*, *95*(2), 308–318. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8224055>

- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135–168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750.
- Dounskaia, N., Wisleder, D., & Johnson, T. (2005). Influence of biomechanical factors on substructure of pointing movements. *Experimental Brain Research*, *164*(4), 505–516. doi:10.1007/s00221-005-2271-4.
- Duverne, S., Lemaire, P., & Michel, B. F. (2003). Alzheimer's disease disrupts arithmetic fact retrieval processes but not arithmetic strategy selection. *Brain & Cognition*, *52*, 302–318. doi:10.1016/S0278-2626(03)00168-4.
- Duysens, J., & Van De Crommert, H. W. A. A. (1998). Neural control of locomotion; Part 1: The central pattern generator from cats to humans. *Gait and Posture*, *7*, 131–141.
- Eggermont, L. H., Gavett, B. E., Volkers, K. M., Blankevoort, C. G., Scherder, E. J., Jefferson, A. L., ... Stern, R. a. (2010). Lower-Extremity Function in Cognitively Healthy Aging, Mild Cognitive Impairment, and Alzheimer's Disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *91*(4), 584–588.
- Elliott, D., Helsen, W. F., & Chua, R. (2001). A century later: Woodworth's (1899) two-component model of goal-directed aiming. *Psychological Bulletin*, *127*(3), 342–357. doi:10.1037//0033-2909.127.3.342.
- Falkenstein, M., Yordanova, J., & Kolev, V. (2006). Effects of aging on slowing of motor-response generation. *International Journal of Psychophysiology*, *59*(1), 22–29.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology: General*, *47*, 381–391.
- Fitts, P. M., & Peterson, J. (1964). Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, *67*(2), 103–112.
- Gandini, D., Lemaire, P., & Michel, B. F. (2009). Approximate quantification in young, healthy older adults', and Alzheimer patients. *Brain and Cognition*, *70*(1), 53–61. doi:10.1016/j.bandc.2008.12.004
- Goldman, W., Baty, B., Buckles, V., Sahrman, S., & Morris, J. (1999). Motor dysfunction in mildly demented AD individuals without extrapyramidal signs. *Neurology*, *53*, 956–962.
- Hirono, N., Mori, E., Ikejiri, Y., Imamura, T., Shimomura, T., Ikeda, M., ... Yamadori, A. (1997). Procedural memory in patients with mild Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *8*(4), 210–216.
- Katz, S. (1983). Assessing self-maintenance: activities of daily living, mobility, and instrumental activities of daily living. *Journal of the American Geriatrics Society*, *31*(12), 721–727.

- Ketcham, C. J., Seidler, R. D., Van Gemmert, A. W. A., & Stelmach, G. E. (2002). Age-related kinematic differences as influenced by task difficulty, target size, and movement amplitude. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, *57B*(1), 54–64. doi:10.1093/geronb/57.1.P54.
- Kolev, V., Falkenstein, M., & Yordanova, J. (2006). Motor-response generation as a source of aging-related behavioural slowing in choice-reaction tasks. *Neurobiology of Aging*, *27*(11), 1719–1730.
- Lawton, M. P., & Brody, E. M. (1969). Assessment of older people: self-maintaining and instrumental activities of daily living. *The Gerontologist*, *9*(3), 179–186.
- Lemaire, P. (2010). Cognitive strategy variations during aging. *Current Direction in Psychological Science*, *19*(6), 363–369.
- Lemaire, P. (2015). *Cognitive aging: The role of strategies*. London: Psychology Press.
- Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, *27*(2), 364–382. doi:10.3758/BF03211420.
- Lemaire, P., & Siegler, R. S. (1995). Four aspects of strategic change: Contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*(1), 83–97. doi:10.1037//0096-3445.124.1.83
- MacKenzie, S. I. (1992). Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, *7*, 91–139.
- Maquet, D., Lekeu, F., Warzee, E., Gillain, S., Wojtasik, V., Salmon, E., ... Croisier, J. L. (2010). Gait analysis in elderly adult patients with mild cognitive impairment and patients with mild Alzheimer's disease: simple versus dual task: a preliminary report. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *30*, 51–56.
- Meyer, D. E., Abrams, R. A., Kornblum, S., Wright, C. E., & Smith, J. E. K. (1988). Optimality in Human motor performance: ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review*, *95*(3), 340–370.
- Mirelman, A., Weiss, A., Buchman, A. S., Bennett, D. A., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2015). Association Between Performance on Timed Up and Go Subtasks and Mild Cognitive Impairment: Further Insights into the Links Between Cognitive and Motor Function. *Journal of the American Geriatrics Society*, *62*(4), 673–678.
- Montero-Odasso, M., Annweiler, C., Hachinski, V., Islam, A., Yang, N., & Vasudev, A. (2012). Vascular burden predicts gait, mood, and executive function disturbances in older adults with mild cognitive impairment: results from the gait and brain study. *Journal of the American Geriatrics Society*, *60*(10), 1–7.

- Montero-Odasso, M., & Hachinski, V. (2014). Preludes to brain failure: executive dysfunction and gait disturbances. *Neurological Sciences, 35*, 601–604. doi:10.1007/s10072-013-1613-4.
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., ... Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(4), 695–659. doi:10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x.
- Ott, B. R., Ellias, S. A., & Lannon, M. C. (1995). Quantitative assessment of movement in Alzheimer's disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology, 8*(1), 71–75.
- Pratt, J., Chasteen, A. L., & Abrams, R. A. (1994). Rapid aimed limb movements: age differences and practice effects in component submovements. *Psychology and Aging, 9*(2), 325–334.
- Poletti, C., Sleimen-malkoun, R., Temprado, J.-J., & Lemaire, P. (2015). Older and Younger Adults' Strategies in Sensorimotor Tasks: Insights From Fitts' Pointing Task. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception, and Performance, 41*(2), 542–555.
- Poletti, C., Sleimen-Malkoun, R., Lemaire, P., & Temprado, J. J. (2016). Strategic variations and sequential effects in young and older adults performing a Fitts' task. *Acta Psychologica, 163*, 1–9. doi:10.1016/j.actpsy.2015.10.003.
- Rey-Robert, B., Temprado, J.-J., Lemaire, P., & Berton, E. (2012). Combining movement kinematics, efficiency functions, and Brinley plots to study age-related slowing of sensorimotor processes: Insights from Fitts' task. *Gerontology, 58*(2), 171–180. doi:10.1159/000329347.
- Robert, P. H., Lafont, V., Medecin, I., Berthet, L., Thaubly, S., Baudu, C., & Darcourt, G. (1998). Clustering and switching strategies in verbal fluency tasks: comparison between schizophrenics and healthy adults. *Journal of the International Neuropsychological Society, 4*(6), 539–546.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review, 103*(3), 403–428.
- Scarmeas, N., Hadjigeorgiou, G. M., Papadimitriou, A., Dubois, B., Sarazin, M., Brandt, J., Albert, M., Marder, K., Bell, K., Honig, L. S., Wegesin, D., & Stern, Y. (2004). Motor signs during the course of Alzheimer disease. *Neurology, 63*(6), 975–982.
- Sheikh, JI, & Yesavage, JA (1986). Geriatric Depression Scale (GDS): Recent evidence and development of a shorter version. In T.L. Brink (Ed.). *Clinical Gerontology: A Guide to Assessment and Intervention* (pp. 165-173). NY: The Haworth Press, Inc.
- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J., Huys, R., Jirsa, V., & Berton, E. (2012). Is fitts' law continuous in discrete aiming? *PLoS ONE, 7*(7), e41190. doi:10.1371/journal.pone.0041190.

- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J.-J., & Berton, E. (2013). Age-related changes of movement patterns in discrete Fitts' task. *BMC Neuroscience*, *14*, 145. doi:10.1186/1471-2202-14-145.
- Teasdale, N., Bard, C., Fleury, M., Young, D. E., & Proteau, L. (1993). Determining movement onsets from temporal series. *Journal of Motor Behavior*, *25*(2), 97–106.
- Temprado, J.-J., Sleimen-Malkoun, R., Lemaire, P., Rey-Robert, B., Retornaz, F., & Berton, E. (2013). Aging of sensorimotor processes: A systematic study in Fitts' task. *Experimental Brain Research*, *228*(1), 105–116. doi:10.1007/s00221-013-3542-0.
- Tinetti, M. E., Richman, D., & Powell, L. (1990). Falls efficacy as a measure of fear of falling. *Journal of Gerontology*, *45*(6), 239–243.
- Van De Crommert, H. W. A. A., Mulder, T., & Duysens, J. (1998). Neural control of locomotion: sensory control of the central pattern generator and its relation to treadmill training. *Gait and Posture*, *7*, 251–263.
- Vazzana, R., Bandinelli, S., Lauretani, F., Volpato, S., Lauretani, F., Di Iorio, A., ... Ferrucci, L. (2010). Trail Making Test predicts physical impairment and mortality in older persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, *58*(4), 719–723. doi:10.1111/j.1532-5415.2010.02780.x.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale - Third Edition*. San Antonio: The Psychological Corporation.
- Woodworth, R. S. (1899). Accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, *3*(3).
- Yan, J. H. (2000). Effects of aging on linear and curvilinear aiming arm movements. *Experimental Aging Research*, *26*(4), 393–407. doi:10.1080/036107300750015778.
- Yan, J. H., Rountree, S., Massman, P., Doody, R. S., & Li, H. (2008). Alzheimer's disease and mild cognitive impairment deteriorate fine movement control. *Journal of Psychiatric Research*, *42*, 1203–1212. doi:10.1016/j.jpsychires.2008.01.006.
- Yan, J. H., Thomas, J. R., & Stelmach, G. E. (1998). Aging and rapid aiming arm movement control. *Experimental Aging Research*, *24*, 155–68. doi:10.1080/036107398244292.
- Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E., & Thomas, K. (2000). Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of Motor Behavior*, *32*(2), 121–140.
- Yordanova, J., Kolev, V., Hohnsbein, J., & Falkenstein, M. (2004). Sensorimotor slowing with ageing is mediated by a functional dysregulation of motor-generation processes: Evidence from high-resolution event-related potentials. *Brain*, *127*, 351–362. doi:10.1093/brain/awh042.

Expérience 5

Effet de l'entraînement et évolution des variations stratégiques chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs dans la tâche de Fitts¹

Dans cette dernière expérience, nous avons proposé un programme d'entraînement à la tâche de Fitts à des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers. Le but était de tester l'effet de l'entraînement sur les variations stratégiques. Pour cela, nous avons demandé à ces patients de suivre un programme d'entraînement de six semaines, à raison de deux sessions par semaines (12 sessions au total). Comme dans l'expérience précédente, quatre niveaux de difficulté (ID) ont été utilisés (3 ; 4 ; 5 et 6 bits), résultant à la fois de la manipulation de la largeur de la cible (2.0 ; 1.6 ; 1.2 ; 0.8 cm) et de la distance entre la position de départ et la cible (8 ; 12 ; 16 ; 20 cm).

L'analyse de cette expérience est en cours de finalisation, mais globalement, les résultats préliminaires ont montré un effet significatif de l'entraînement sur les performances et les variations stratégiques des patients testés. D'une part, l'analyse des temps de mouvement (TM) a permis de montrer que quel que soit le niveau de difficulté de la tâche, les patients étaient plus rapides après avoir suivi un entraînement. De plus l'analyse des fonctions d'efficacité (TM en fonction de l'ID) a montré une diminution de la pente de la loi de Fitts plus importante après

¹ Étude en cours de finalisation et article en préparation.

l’entraînement, indiquant une amélioration des capacités de traitement de l’information lors de la réalisation de la tâche.

D’autre part, l’analyse des variations stratégiques a permis de montrer que les patients pré- et post-entraînement différaient au niveau de l’exécution stratégique. En effet, après avoir suivi le programme d’entraînement, les patients étaient plus rapides pour exécuter les stratégies, notamment les plus difficiles. Ces résultats nous ont conduit à suggérer que les FEs interviendraient dans l’exécution des stratégies et que le programme d’entraînement permettrait d’améliorer leur efficacité.

En conclusion, cette expérience met en évidence des résultats prometteurs sur les effets bénéfiques de l’entraînement du contrôle sensori-moteur chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers. Ces résultats suggèrent que l’amélioration de l’exécution stratégique pourrait provenir d’une amélioration des FEs.

Effects of training and strategic variations in cognitively impaired older adults
performing a Fitts' task

Céline Poletti^{1,2}, Rita Sleimen-Malkoun², Leslie Marion Decker³, Frédérique Retornaz⁴,
Patrick Lemaire¹, & Jean-Jacques Temprado^{2*}

1. Aix Marseille Univ, CNRS et IUF, LPC, Laboratoire de Psychologie Cognitive, Marseille, France
2. Aix Marseille Univ, CNRS, ISM, Institut des Sciences du Mouvement, Marseille, France
3. Unité COMETE UMR 1075, Université de Caen Normandie, Inserm, Caen, France.
4. Centre Gériatologique Départemental, Marseille, France.

(In Preparation)

Corresponding author: Jean-Jacques Temprado, Institut des Sciences du Mouvement, Aix
Marseille Université, Faculté des Sciences du Sport, 163 Route de Luminy, BP 910, 13288
Marseille, Cedex. Phone: +33 4 91 17 22 72. Email: jean-jacques.temprado@univ-amu.fr.

Abstract

The present study aimed at investigating the effects of training on strategic variations in cognitively impaired patients (CIP) performing a discrete Fitts' aiming task. To test the patient's performance, four levels of task difficulty were used, resulting from the simultaneous manipulation of the size of the target and its distance from the home position. CIP were tested before and after a training program consisting of twelve sessions per week over a six-week period, with two sessions per week (on average) and six conditions of varying index of difficulty (ID) per session. We found that movement times followed Fitts' law in both pre- and post training CIP, with the former being significantly longer and more affected by increased task difficulty. Moreover, analyses of strategic variations pre- and post training showed that CIP differed in strategy execution (i.e., how quick they were with each available strategy). These findings highlight promising results on the benefits of sensorimotor training in CIP. They suggest that improving strategic execution could come from improved EFs.

Key words: *Aging; Fitts' task; Mild cognitive impairment; Sensori-motor strategies; Training.*

Introduction

Research has suggested that cognitive and motor functioning declines with advancing age. For instance, older adults showed longer reaction, slower movement speed, and less smooth movement than young adults (Yan, 2000; Yan et al., 1998; 2000). The time of onset of this decline varies considerably from one individual to another and can be accelerated in patients with neurodegenerative disorders such as Alzheimer's disease (AD; Carrasco et al., 2000; Ott et al., 1995). Specifically, patients with AD exhibit a significant behavioral decline or disturbance in their cognitive and motor performance (Hirono et al., 1996; Ott et al., 1995).

In a previous study (Poletti et al., in revision), we showed how healthy older adults (HOA) and cognitively impaired patients (CIP) differ in their performance and strategic variations when they had to perform a Fitts' task. Specifically, we found that CIP were slower and more affected by increased task difficulty than HOA. Moreover, analyses of strategic variations showed that HOA and CIP differed with respect to their strategy repertoire (i.e., which strategies they used) and strategy execution (i.e., how quick they were with each available strategy).

In the present study, we wanted to explore the effects of training on patients' performance and strategic variations. By studying training-related strategic variations, we aimed at determining the underlying mechanisms responsible for motor skill improvement. We hypothesized that training in the Fitts' task could have consequences (i.e., improvement) on information processing capacities and executive functions (EFs), leading to change in performance and strategic variations. To test this hypothesis, CIP were trained in the Fitts' task and the effects of training were assessed through analyses of efficiency functions (movement time as function of the difficulty of the task) and strategic variations. We predicted shorting

movement times (MTs) along with a reduction of the efficiency function slope after training. Moreover, we expected that Pre- and Post-training CIP would exhibit different strategy repertoire, strategy distributions and strategy execution. Specifically, as a result of an improvement in EFs, we predicted that Post-training CIP would use fewer strategies than Pre-training CIP, especially for lower IDs. Indeed, post-training CIP would be able to inhibit strategies with corrective sub-movements (e.g., progressive-deceleration) in order to focus on strategies that are easy and efficient (e.g., one-shot) to execute on lower IDs. Additionally, we expected that Pre- and Post-training CIP would exhibit different strategy distributions. Post-training CIP would be less dependent on the visually guided deceleration phase, leading them to use most frequently the strategy without sub-movements. Finally, we predicted that Post-training CIP would improve strategy execution.

Method

Participants. Eleven right-handed cognitively impaired patients (CIP; mean age = 82.3 years; age range: 65-90), voluntarily participated to the study. They were long-term stay nursing home residents from the Centre G erontologique Départemental of Marseille. All patients had no history of neurological (e.g., Parkinson's disease, stroke) or psychiatric disorder (e.g., schizophrenia, bipolar disorder), or alcohol and substance abuse. Moreover, they had no uncorrected visual impairment and did not suffer any upper-limb dysfunctions or pain that could affect the achievement of the task. Patients were the same as those who participated in our previous study (Poletti et al., in revision).

Experimental setup. Patients were comfortably seated on a chair at a height-adjusted table, with their dominant hand resting on their lap and their non-dominant forearm resting on a USB

digitizer (Wacom Intuos4 XL; 1024×768 pixel resolution) positioned on the tabletop right in front of them, in portrait orientation. The digitizer was connected to a portable PC (Dell, Latitude-D420). Using a hand-held non-marking stylus (Wacom, Generation 2 tip sensor), patients were asked to perform discrete rapid-aiming movements, from an initial home position towards a target. The home position, represented as a red circle of 0.5 cm diameter, was always aligned with the center of the target, which was represented by a red horizontal rectangle (17.4 cm x various width values). Home and target positions were printed on a white paper sheet and inserted under the transparent plastic film cover of the digitizer. Aiming movements involved shoulder flexion and elbow extension with full stops on home position (movement initiation) and the target position (movement termination). To avoid trunk compensations, patients were required to keep their belly pressed against the table.

Procedure

Training program. Patients underwent a training program consisting of 12 sessions over a four-week period, with three sessions per week (in average) and six conditions of varying task difficulty per session. Task difficulty (ID) was scaled via the manipulation of the target width (W) and the distance between the home position and the center of the target (D), which yielded ID values ranging from 3 to 7 bits. Mean task difficulty progressively increased across sessions. Before each trial, patients were asked to hold still the stylus on the home position until they heard a beep. They were free to initiate their movements at any time following the onset of the beep and were informed that it was not necessary to minimize reaction times. However, they were firmly instructed to keep optimal speed-accuracy trade-off that is “to move as fast as possible from the home position to the target position and to stop on it”.

Before each ID condition, patients were allowed to complete three (unrecorded) familiarization trials. Then, they were requested to complete a block of two-min trials. To prevent fatigue, a short rest was allowed between each trial and each block. Moreover, in order to help patients to adjust the adopted speed-accuracy trade-off, the experimenter provided knowledge of results regarding accuracy rate and movement times (ms) after each ID condition.

Pre- and post-training assessments. Experimental conditions used for pre- and post-training assessments consisted of five ID levels: 3, 4, 5, 6, and 7 bits. Details on ID conditions can be found in Table 3. The task instructions were the same as that given during training sessions. However, knowledge of results was not provided. Before each ID condition, patients were allowed to complete three (unrecorded) familiarization trials. Then, they were requested to complete a block of 16 trials, for a total of 64 trials. The order of presentation of the conditions was randomized in-between patients. In each ID condition, the allowed error rate was 12.5% (maximum 2 trials out of 16). If more than two trials were missed, the missed trials were repeated at the end of the condition.

Table 3. *ID conditions used for pre- and post-assessments.*

Condition number	Distance (mm)	Width (mm)	ID (bits)
1	80	20	3
2	120	16	4
3	160	12	5
4	200	8	6
5	240	4	7

Variables and data processing. The pen-tip raw displacement data were recorded using a customized software (ICE) developed at the laboratory (Institute of Movement Sciences, Marseille) at a sampling frequency of 250 Hz. The recorded data were filtered using a second-order dual pass (no phase-lag) Butterworth filter with a cut-off frequency of 10 Hz. First, second, and third derivatives of displacement (velocity, acceleration, and jerk, respectively) were then computed in MATLAB (MathWorks, v.7.5.0 R2007b). Movement onset and offset were determined on the basis of velocity profiles using the optimal algorithm of Teasdale et al. (1993). The critical velocity threshold was obtained by multiplying peak velocity by 0.05.

First, this procedure allowed us to calculate for each trial, in each condition the movement times (MTs) that correspond to the times to reach the target. MTs were then used to calculate efficiency functions (EF). Namely, we analyzed the ID-MT relation using simple linear regression models carried out on mean training-related values. Second, to check whether the prescribed IDs were respected or not (Sleimen-Malkoun et al., 2012), the effective target width (We) was calculated from the standard deviation of movement end points (Mackenzie, 1992) using the following formula: $We = 2 * 1.96 * SD_A$; where SD_A is the standard deviation of movement amplitude (i.e., the effective distance), and 1.96 is the boundary of a normal distribution at 95%. Then, we compared the distributions of movement end points (centered on mean movement amplitude and bounded by calculated We) and the prescribed ones (centered on target distance and bounded by target edges). These comparisons yielded no significant statistical differences ($t_s < 1$). Accordingly, the prescribed ID levels were used for all patients.

Kinematic analyses were also carried out. Specifically, primary and secondary submovements were identified by following a procedure currently used in the literature and previously used by Poletti et al. (2015) in a comparable study. The primary submovement was characterized by a

rapid movement that brings the limb near the target and the optional secondary submovement corresponded to an online control phase during which the target is approached (Woodworth, 1899). Then, following Meyer et al. (1988), the end of the primary submovement was defined as the moment of time when one of the following three events occurred after the velocity reached its peak: (a) the velocity crossed zero, changing from positive to negative, (b) the acceleration crossed zero, changing from negative to positive, or (c) the jerk crossed zero, changing from positive to negative. This procedure allowed us to calculate kinematic variables that were related to the type of the secondary submovement identified (see Dounskaia et al., 2005). Each secondary submovement has been used to distinguish types of strategies. Three of the four available strategies that patients used to reach the target have been detected in this experiment. The undershoot strategy included re-acceleration towards the target; the progressive-deceleration strategy referred to an increase of the deceleration phase, and the one-shot strategy consisted in reaching the target with no corrections. However, the overshoot strategy corresponding to corrections for overshooting was never used by any of the patients in this study.

Results

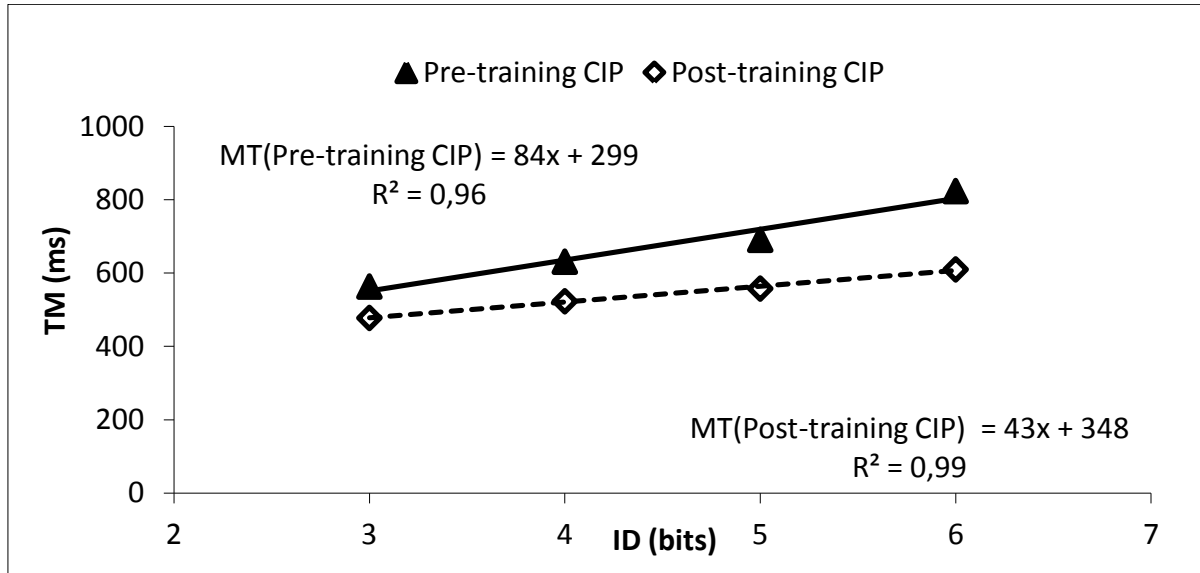
The last ID condition (i.e., ID = 6.9 bits) was removed from analyses since it was too difficult to perform for some participants who showed extremely long MTs (> 1000 ms) and a high number of errors (> 40 %). All trials containing errors (9.1%) were removed (analyses of error percentages revealed only a main effect of ID, $F(3,54) = 11.77$, $p < .001$). Moreover, one patient was excluded from the analyses since its performance did not follow Fitts' law. Unless otherwise noted, all reported effects are significant with $p < .05$.

Training-related differences in movement times. To check if Fitts' law was respected, MTs were first analyzed with a two-factor repeated measures ANOVA: Test (Pre-training CIP, Post-training CIP) x ID (3, 4, 5, 6 bits). Then, to determine the efficiency function, ID-MT relation was analyzed using a simple linear regression model carried out on mean training-related values. The slopes of the different efficiency functions estimated information-processing capacities in both pre- and post training patients (in bits/s). Student's *t*-statistic was used to test for significant training-related differences in slopes.

MTs were significantly larger in Pre-training CIP than in Post-training CIP (678 ms vs. 542 ms; $F(1,17)=8.05$, $MSe=42984$, $n^2p=0.32$) and increased with ID scaling (521 ms, 577 ms, 625 ms, and 717 ms; $F(3,51)=52.44$, $MSe=2495$, $n^2p=0.76$). The Test x ID interaction was significant, $F(3,51)=5.91$, $MSe=2495$, $n^2p=0.26$, resulting from larger increase in MTs as a function of increased IDs in Pre-training CIP (564 ms, 631 ms, 691 ms, and 824 ms, respectively) than in Post-training CIP (478 ms, 523 ms, 558 ms, and 610 ms, respectively).

Efficiency functions resulting from linear fittings of the ID-MT relation before and after training, along with corresponding equations, are displayed in Figure 1. Fitts' law was found to account for at least 98% of changes in MTs. Pre-training CIP slope's was larger than that of Post-training CIP (84 and 43, respectively; $t = 3.41$, $p<.05$). This result showed a multiplicative slowing in Pre-training CIP, with a slowing rate of 95%.

Figure 1. Efficiency functions for MTs in Pre-training CIP (black triangles) and Post-training CIP (open diamonds).



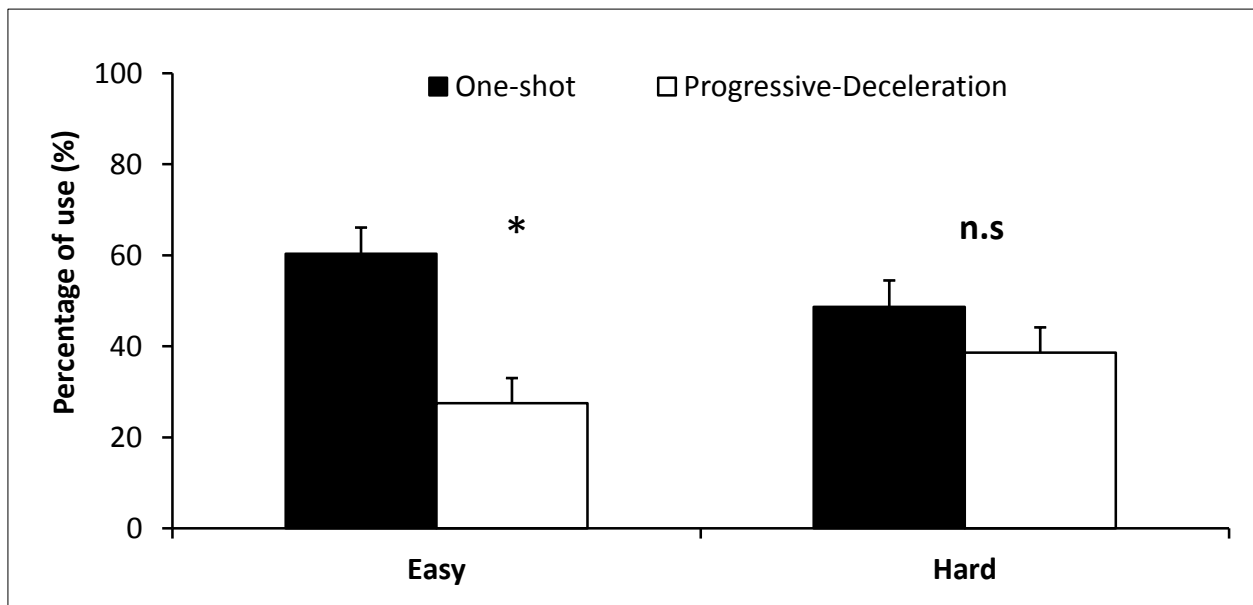
Training-related differences in strategy repertoire. Examination of kinematic profiles revealed that patients used three strategies (i.e., one-shot, undershoot, and progressive-deceleration strategies). The overshoot strategy, which is generally rarely used (cf., Poletti et al., 2015, 2016), was never used by any patient. In the subsequent analyses, in order to simplify the presentation of data and to increase the number of observations in each condition, we combined the easier and harder IDs respectively, hence yielding two different levels of difficulty: “easy” (3 and 4 bits) and “hard” (5 and 6 bits).

To examine training-related differences in strategy repertoire, mean number of strategies used by individuals were analyzed with a two-factor repeated measures ANOVA: Test (2: Pre-training CIP, Post-training CIP) x Difficulty (2: easy, hard). Patients used a smaller number of strategies for harder ID than for easier ID (1.8 vs. 2.1, $F(1,36)=3.99$, $MSe=0.34$, $n^2p=0.10$). The Test x Difficulty interaction was not significant ($F<1$).

Training-related differences in strategy distribution. To analyze training-related differences in strategy distribution, a three-way repeated measures ANOVA was carried out on mean percentages of use of the two most often used strategies: Test (2: Pre-training CIP, Post-training CIP) x Difficulty (2: easy, hard) x Strategy (2: one-shot, progressive-deceleration). The undershoot strategy, which was used on only 10% of trials, was excluded from this analysis to break the dependence between cells. On average, patients used the one-shot strategy (55%) more often than the progressive-deceleration strategy (33%).

As shown in Figure 2, analyses also revealed a significant Strategy x Difficulty interaction ($F(1,17)=11.65$, $MSe=199.2$, $n^2p=0.41$). Planned comparison showed that patients used more frequently the one-shot strategy than the progressive-deceleration strategy (61% vs. 27%, $F(1,17)=12.97$,) on easier trials, and these two strategies equally often on harder trials (49% vs. 38%, $F<1$).

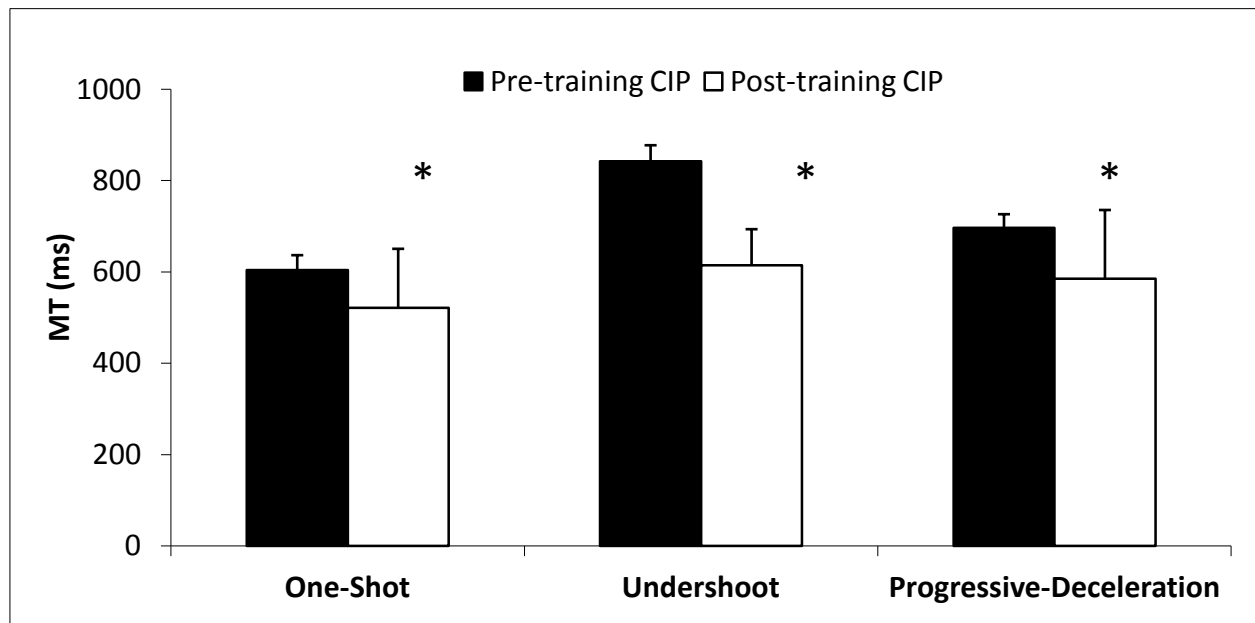
Figure 2. Mean percentages of the one-shot and progressive deceleration strategies as function of task difficulty.



Note. * $p<.01$; n.s = no significant

Training-related differences in strategy execution. To analyze training-related differences in strategy execution, a two-factor repeated measure ANOVA was carried out on MTs: Test (2: Pre-training CIP, Post-training CIP) x Strategy (3: one-shot, progressive-deceleration, undershoot). As can be seen in Figure 3, analyses of MTs revealed that Post-training CIP were faster than Pre-training CIP (574 ms vs. 714 ms; $F(1,17)=10.42$, $MSe=26917$, $n^2p=0.38$). A main effect of strategy was found ($F(2,34)=38.47$, $MSe=3385$, $n^2p=0.69$). Pairwise comparisons revealed that participants were faster with the one-shot strategy than with the progressive-deceleration strategy ($F(1,17)=71.33$), or than with the undershoot strategy ($F(1,17)=62.49$). Also, participants were faster with the progressive-deceleration strategy than with the undershoot strategy ($F(1,17)=14.12$). The Test x Strategy interaction was also significant ($F(2,34)=8.26$, $MSe=3385$, $n^2p=0.33$). Planned comparisons showed that Post-training CIP were the fastest with the one-shot strategy (522 ms). They were equally fast when using the undershoot and the progressive-deceleration strategies (615 ms and 585 ms, respectively). Pre-training CIP were the fastest with the one-shot strategy (604 ms), and they were the slowest with the undershoot strategy (842 ms), the progressive-deceleration strategy being in the middle (696 ms). Although Post-training CIP were faster than Pre-training CIP whatever strategy they used ($F_s>4.85$), differences between pre- and post training CIP were the largest with the undershoot strategy (228 ms) and with the progressive-deceleration strategy (111 ms); they were the smallest with the one-shot strategy (83 ms).

Figure 3. Mean MTs in Pre- and post-training CIP while using the one-shot, undershoot, or progressive-deceleration strategy.



Note. * $p < .05$.

Discussion

In the present study, cognitively impaired patients (CIP) followed a training program involving the Fitts' task over a period of six weeks. The effects of the training program were assessed through analysis of movement times (MTs), Fitts' law and strategic variations. In the following, we discuss our findings, along with their general implications on understanding the processes underlying sensorimotor performance.

Effects of training on Fitts' law. Across ID conditions, MTs of patients were improved. Specifically, we found that Post-training CIP were, on average 15-26% (86-214 ms) faster than Pre-training CIP. This result is consistent with those reported by Elliott et al. (2004) showing a 20-25% reduction in young adults MTs' after four days of practice. Our results also showed that MTs followed Fitts' law, before and after CIP underwent the training program. Moreover, we

found that training in the Fitts' task led to a decrease in the Fitts' law slope (84 vs. 43, respectively for Pre- and Post-training CIP), which is commonly taken as an indicator of an improved information processing speed. Additionally, we found no significant difference when comparing the slope of Post-training CIP with that of healthy older adults observed in our previous study (Poletti et al., in revision). This finding suggests that training could reestablish, at least to some extent the information processing capacities in CIP.

Effects of training on strategic variations. Effects of training were found only in strategy execution. Specifically, Post-training CIP were faster than Pre-training CIP whatever the strategy they used. Moreover, the post-training results in CIP revealed improved execution of the hardest strategy (i.e., undershoot) than other strategies of intermediate difficulty (i.e., progressive-deceleration) and the easiest strategy (i.e., one-shot). Knowing that EFs are strongly involved during execution of difficult strategies, these results suggest that training could improve EFs, thus leading Post-training CIP to obtain better performance when using this type of strategy.

Conclusion

Overall, the present study documented effects of training in strategic behaviors underlying improve in Post-training CIP performance in Fitts' task. Our findings demonstrated significant improvement in performance and strategy execution, suggesting a critical role of information processing speed and EFs.

References

- Carrasco, M. C., Guillem, M. J., & Redolat, R. (2000). Estimation of short temporal intervals in Alzheimer's disease. *Experimental Aging Research*, 26(2), 139–51.
- Dounskaia, N., Wisleder, D., & Johnson, T. (2005). Influence of biomechanical factors on substructure of pointing movements. *Experimental Brain Research*, 164(4), 505–516.
- Elliott, D., Hansen, S., Mendoza, J., and Tremblay, L. (2004). Learning to optimize speed, accuracy, and energy expenditure: a framework for understanding speed-accuracy relations in goal-directed aiming. *Journal of Motor Behavior*, 36, 339– 351.
- Hirono, N., Mori, E., Ikejiri, Y., Imamura, T., Shimomura, T., Ikeda, M., ... Yamadori, A. (1997). Procedural memory in patients with mild Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 8(4), 210–216.
- Meyer, D. E., Abrams, R. A., Kornblum, S., Wright, C. E., & Smith, J. E. K. (1988). Optimality in Human motor performance: ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review*, 95(3), 340–370.
- Ott, B. R., Ellias, S. A., & Lannon, M. C. (1995). Quantitative assessment of movement in Alzheimer's disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 8(1), 71–75.
- Poletti, C., Sleimen-malkoun, R., Temprado, J.-J., & Lemaire, P. (2015). Older and Younger Adults' Strategies in Sensorimotor Tasks: Insights From Fitts' Pointing Task. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception, and Performance*, 41(2), 542–555.
- Poletti, C., Sleimen-Malkoun, R., Lemaire, P., & Temprado, J. J. (2016). Strategic variations and sequential effects in young and older adults performing a Fitts' task. *Acta Psychologica*, 163, 1–9.
- Rey-Robert, B., Temprado, J.-J., Lemaire, P., & Berton, E. (2012). Combining movement kinematics, efficiency functions, and Brinley plots to study age-related slowing of sensorimotor processes: Insights from Fitts' task. *Gerontology*, 58(2), 171–180.
- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J., Huys, R., Jirsa, V., & Berton, E. (2012). Is fitts' law continuous in discrete aiming? *PLoS ONE*, 7(7), e41190.
- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J.-J., & Berton, E. (2013). Age-related changes of movement patterns in discrete Fitts' task. *BMC Neuroscience*, 14, 145.
- Teasdale, N., Bard, C., Fleury, M., Young, D. E., & Proteau, L. (1993). Determining movement onsets from temporal series. *Journal of Motor Behavior*, 25(2), 97–106.

- Temprado, J.-J., Sleimen-Malkoun, R., Lemaire, P., Rey-Robert, B., Retornaz, F., & Berton, E. (2013). Aging of sensorimotor processes: A systematic study in Fitts' task. *Experimental Brain Research*, 228(1), 105–116.
- Yan, J. H. (2000). Effects of aging on linear and curvilinear aiming arm movements. *Experimental Aging Research*, 26(4), 393–407.
- Yan, J. H., Thomas, J. R., & Stelmach, G. E. (1998). Aging and rapid aiming arm movement control. *Experimental Aging Research*, 24, 155–68.
- Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E., & Thomas, K. (2000). Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of Motor Behavior*, 32(2), 121–140.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Discussion Générale

Les recherches sur le vieillissement poursuivent plusieurs objectifs pour tenter de comprendre comment évoluent les performances cognitives et sensori-motrices avec l'âge. Elles visent notamment à déterminer (a) quels sont les aspects de la cognition qui évoluent ou restent stables au cours du vieillissement, (b) quelles sont les caractéristiques des personnes les plus affectées par le vieillissement, (c) quels sont les mécanismes affectés ou épargnés par le vieillissement, (d) comment ralentir ou lutter contre le vieillissement. Ainsi, nous avons pu voir dans les Chapitres 1 et 2, que les chercheurs utilisent généralement deux grandes approches pour mieux comprendre et analyser l'évolution des performances cognitives et sensori-motrices au cours du vieillissement : l'approche quantitative et l'approche qualitative. Selon l'approche quantitative, le déclin des performances avec l'âge résulterait d'une diminution des ressources de traitement. Selon l'approche qualitative, l'évolution avec l'âge des performances cognitives serait associée à des variations stratégiques.

Cependant, ces deux approches sont rarement considérées ensemble et les effets du vieillissement sur le fonctionnement cognitif et sensori-moteur sont généralement étudiés séparément. Toutefois, des études récentes ont porté un intérêt particulier à l'étude des relations entre le fonctionnement cognitif et sensori-moteur au cours du vieillissement. Elles ont montré que les relations entre ces deux domaines étaient de plus en plus fortes avec l'avancée en âge (Li & Lindenberger, 2002; Schaefer & Schumacher, 2010; Schäfer et al., 2006). L'hypothèse d'une cause commune a été avancée pour expliquer le déclin avec l'âge des performances cognitives et sensori-motrices (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). D'un point de vue

quantitatif, la diminution avec l'âge des capacités de traitement de l'information pourrait être l'une des causes communes possibles au ralentissement cognitif et sensori-moteur (e.g., Sleimen-Malkoun et al., 2013).

En revanche, nous ignorons toujours comment ces variations quantitatives pourraient influencer les variations qualitatives au cours du vieillissement. Il est possible, par exemple, que l'altération des ressources exécutives (FEs) avec l'âge, conduite à des modifications qualitatives (variations stratégiques) à la fois dans le domaine cognitif et dans le domaine sensori-moteur. Une évolution commune de ces variations stratégiques dans ces deux domaines suggèrerait l'implication de mécanismes communs. L'altération avec l'âge de ces mécanismes communs influencerait les deux domaines et expliquerait la diminution des performances dans les tâches cognitives et sensori-motrices. Les travaux de recherche présentés dans cette thèse avaient pour objectif de tester cette hypothèse.

1. Résumé des principaux résultats

L'objectif principal de cette thèse était d'étudier l'augmentation avec l'âge des relations entre la cognition et la sensori-motricité du point de vue (qualitatif) des variations stratégiques. Dans cette perspective, la diminution des performances avec l'âge serait caractérisée par l'utilisation de stratégies différentes au cours du vieillissement. La première étape de notre travail consistait donc à déterminer si les variations stratégiques observées dans plusieurs domaines cognitifs pouvaient également être observées dans le domaine sensori-moteur. Il s'agissait de déterminer comment évolue le répertoire (i.e., les stratégies utilisées par les individus), la distribution (i.e., la fréquence relative d'utilisation de chaque stratégie), l'exécution (i.e., la vitesse et la précision associées à chaque stratégie) et la sélection stratégique (i.e., le choix d'une

stratégie parmi les stratégies disponibles) dans une tâche motrice. Nous avons choisi d'utiliser la tâche de Fitts dans toutes nos études car les mécanismes sollicités pour effectuer des mouvements de pointage sont représentatifs des mécanismes utilisés dans les différentes tâches motrices (e.g., marche, posture). Nous avons pu montrer que, dans le domaine sensori-moteur comme dans plusieurs autres domaines cognitifs (e.g., mémoire, résolution de problèmes, prise de décision), des variations stratégiques pouvaient être observées (Expérience 1). Dans cette expérience, nous avons demandé à des participants d'effectuer des mouvements de pointage depuis une position de départ vers une cible en faisant glisser un stylet sur une tablette graphique. La difficulté de la tâche (ID) était augmentée soit en diminuant la largeur de la cible (ID_W) soit en augmentant sa distance (ID_D) par rapport à la position de départ. Grâce à l'analyse de la cinématique du mouvement, nous avons montré que les participants jeunes et âgés utilisaient quatre stratégies différentes pour réaliser leurs pointages. Cependant, même si les deux groupes d'âge employaient les mêmes stratégies, individuellement les adultes âgés utilisaient, en moyenne, moins de stratégies que les adultes jeunes, suggérant une diminution avec l'âge du répertoire stratégique. Ces résultats suggèrent que la diminution des ressources de traitement avec l'âge conduit les adultes âgés à réduire le nombre de stratégies qu'ils maintiennent actives en mémoire de travail. Une réduction du répertoire stratégique a été observée dans plusieurs tâches telles que l'arithmétique (e.g., Hodzik & Lemaire, 2011 ; Lemaire & Arnaud, 2008), la lecture (e.g., Shake, Noh, & Stine-Morrow, 2009; Stine-Morrow, Miller, & Hertzog, 2006), la mémoire épisodique (e.g., Kuhlmann & Touron, 2012), ou la prise de décision (e.g., Mata & Nunes, 2010). La réduction du répertoire stratégique avec l'âge semble donc être un principe commun de l'effet du vieillissement dans les domaines cognitifs et sensori-moteurs, qui pourrait résulter d'un facteur commun tel que la diminution des ressources de traitement (FEs) au cours du vieillissement. Nous avons également montré que selon l'âge des participants, la difficulté de la tâche et le type

de manipulation, la fréquence d'utilisation des stratégies n'était pas la même. En accord avec les résultats de Ketcham et al. (2002), les adultes jeunes utilisaient préférentiellement des stratégies sans sous-mouvement de correction (i.e., moins coûteuse), alors que les adultes âgés utilisaient majoritairement des stratégies comprenant des sous-mouvements (e.g., progressive-deceleration, plus coûteuse). Les différences liées à l'âge étaient modulées par la difficulté de la tâche (i.e., facile ou difficile) et le type de manipulation (i.e., D ou W). Enfin, nous avons montré que les stratégies utilisées par les adultes jeunes et âgés pour effectuer la tâche de Fitts n'avaient pas la même efficacité. De plus, les différences liées à l'âge étaient plus importantes pour la stratégie la plus difficile (i.e., undershoot) que pour la stratégie la plus facile (i.e., one-shot). Cependant, il est possible que ces différences liées à l'âge soient ici contaminées par la sélection stratégique. En effet, outre le fait d'être plus lents pour exécuter les stratégies, les adultes âgés pourraient être plus lents parce qu'ils utilisaient plus fréquemment des stratégies difficiles.

Nous avons également montré une amplification de ces variations stratégiques au cours du vieillissement pathologique (Expérience 3). Pour cela, nous avons demandé à des adultes âgés sains et des patients âgés présentant des déficits cognitifs légers d'effectuer une tâche de Fitts. Cependant, à la différence de l'étude précédente, nous avons ici manipulé la difficulté de la tâche en modifiant à la fois la distance et la largeur de la cible. Nos résultats ont montré des différences entre les deux groupes au niveau du répertoire et de l'exécution stratégiques. De plus, les tests neuro-psychologiques ont révélé une altération des FEs et de la VTI chez les patients. Les FEs étant fortement impliquées dans la tâche de Fitts (Rey-Robert et al., 2012; Temprado et al., 2013), nous avons suggéré que leur altération pourrait être à l'origine de l'amplification des variations stratégiques observées chez les patients. Concernant le répertoire stratégique, nous avons observé que les patients utilisaient plus de stratégies que les âgés sains pour les IDs faciles alors que pour les IDs difficiles, ils en utilisaient le même nombre. Il est possible que l'altération

des FEs ait empêché les patients d'inhiber la stratégie plus difficile (e.g., progressive-deceleration) afin d'utiliser la stratégie la plus facile mais également la plus efficiente (i.e., one-shot) pour réaliser la tâche dans la condition facile. Concernant l'exécution stratégique, les résultats ont montré que les patients étaient plus lents quelle que soit la stratégie utilisée. De plus, la différence entre les deux groupes était plus importante pour la stratégie la plus difficile (undershoot) que pour la stratégie de difficulté intermédiaire (progressive-deceleration), alors qu'elle était moins importante pour la stratégie la plus facile (one-shot). Ces résultats suggèrent que plus la stratégie est coûteuse en ressources de traitement plus les différences entre les deux groupes augmentent. Des résultats similaires ont été observés dans plusieurs tâches cognitives. Par exemple, dans une tâche d'estimation de numérosité, Gandini et al. (2009) ont montré que les patients âgés atteints de la maladie d'Alzheimer utilisaient plus souvent la stratégie d'estimation visuelle (plus facile) que les âgés sains ainsi qu'une diminution des performances plus importante pour la stratégie d'ancrage (plus difficile).

En résumé, les résultats de ces deux expériences ont permis de mettre en évidence l'existence de variations stratégiques dans le domaine sensori-moteur et que ces variations diffèrent au cours du vieillissement. De plus, ces variations stratégiques semblaient similaires aux variations stratégiques observées dans plusieurs domaines cognitifs (voir Lemaire, 2010; 2016, pour des revues). Ce résultat intéressant nous a conduit à suggérer que les variations stratégiques au cours du vieillissement cognitif et sensori-moteur pourraient être le résultat d'une cause commune.

Nous avons également testé l'effet de l'entraînement à la tâche de Fitts sur les variations stratégiques observées chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers (Expérience 4). Nos résultats ont montré qu'après avoir suivi un programme d'entraînement de six semaines, à raison de deux sessions par semaine (12 sessions au total), les performances et variations des

patients différaient au niveau de l'exécution stratégique. En effet, après suivi l'entraînement, les patients étaient plus rapides pour exécuter les stratégies, notamment les plus difficiles. Ces résultats nous ont conduit à suggérer que les FEs interviendraient dans l'exécution stratégique et que le programme d'entraînement permettrait d'améliorer leur efficacité.

L'étude des effets de séquence dans la tâche de Fitts nous a ensuite permis de tester le rôle des fonctions exécutives (FEs) dans l'évolution avec l'âge des variations stratégiques (Expérience 2). Comme dans les autres expériences, les participants devaient effectuer des mouvements de pointage depuis une position de départ vers une cible. Cependant, dans cette expérience la difficulté de la tâche résultait seulement de la manipulation de la largeur de la cible. Afin de créer des effets de séquence, la moitié des essais était précédée d'un essai de même difficulté (e.g., facile-facile) et l'autre moitié était précédée d'un essai de difficulté différente (e.g., facile-difficile). Trois effets de difficulté séquentielle ont pu être mis en évidence. Ainsi, au cours de l'exécution stratégique, les participants jeunes et âgés étaient moins rapides après avoir atteint une petite cible ou utilisé une stratégie difficile, qu'après avoir atteint une grande cible ou utilisé une stratégie facile. De plus, au cours de la sélection stratégique, les participants avaient tendance à répéter la même stratégie sur deux essais successifs, et ce de façon plus importante pour la stratégie facile. Nous n'avons pas trouvé d'effet d'âge sur les effets de séquence au cours de l'exécution stratégique. Cependant les résultats ont montré que les adultes âgés avaient tendance à répéter plus souvent les stratégies difficiles et moins souvent les stratégies faciles que les adultes jeunes. Nous avons proposé d'expliquer ces effets de séquence par un mécanisme général d'épuisement des ressources. Précédemment proposée par Schneider et Anderson (2010) et plus récemment élaborée par Uittenhove et Lemaire (2012) dans le domaine cognitif, l'hypothèse de l'épuisement des ressources permettrait également d'expliquer les effets de séquence observés dans la tâche de Fitts. Ainsi, lors de l'exécution stratégique, les participants utiliseraient la

majorité de leurs ressources (e.g., les FEs) pour résoudre un problème difficile (ou exécuter une stratégie difficile) et n'auraient plus assez de ressources pour l'essai suivant. De la même manière, lors de la sélection stratégique, les stratégies difficiles consommeraient plus de ressources et conduiraient les participants à changer pour une stratégie moins coûteuse (i.e., plus facile). L'effet de l'âge observé sur les effets de séquence pendant la sélection stratégique est cohérent avec les résultats de plusieurs études (e.g., Bouazzaoui et al., 2010; Hodzik & Lemaire, 2011; Taconnat et al., 2006) qui montrent que l'altération des FEs médiatise les changements dans la sélection stratégique.

Enfin, nous avons testé l'évolution avec l'âge des effets de difficulté séquentielle au sein du même groupe de participants effectuant à la fois une tâche cognitive et une tâche motrice (Expérience 5). Dans la tâche cognitive, les participants jeunes et âgés devaient estimer le produit de multiplications de deux nombres à deux chiffres (e.g., 43×64) en utilisant soit la stratégie d'arrondi aux dizaines inférieures (e.g., faire $40 \times 60 = 2400$) soit la stratégie d'arrondi aux dizaines supérieures (e.g., faire $50 \times 70 = 3500$). Pour la tâche motrice, ils devaient, comme dans les études précédentes, effectuer une tâche de Fitts. Afin de créer des effets de séquence dans chacune des deux tâches (comme dans l'Expérience 2), la moitié des items était précédée d'un item de même difficulté et l'autre moitié était précédée d'un item de difficulté différente. Pour chaque tâche, des effets de difficulté séquentielle ont été observés. Les participants étaient plus lents après avoir résolu un problème difficile ou atteint une petite cible qu'après avoir résolu un problème facile ou atteint une grande cible. Toutefois, alors que ces effets de difficulté séquentielle étaient comparables entre les deux groupes d'âge dans la tâche d'estimation calculatoire, nous avons observé des effets de difficulté séquentielle uniquement chez les adultes âgés dans la tâche de Fitts. Nous avons proposé d'expliquer ces effets de difficulté séquentielle dans les deux tâches par un mécanisme général d'épuisement des ressources (comme dans

l'Expérience 2). Néanmoins, la présence d'effets de difficulté séquentielle uniquement chez adultes âgés dans la tâche de Fitts a suggéré l'implication de mécanismes spécifiques. Il est possible qu'au cours de la tâche de Fitts les adultes âgés aient utilisés la majorité de leurs ressources (i.e., les FEs) afin de traiter les informations permettant de contrôler leurs mouvements en ligne. L'altération avec l'âge des mécanismes de contrôle associée à une tâche de contrôle du mouvement plus complexe (i.e., contrôle en ligne) aurait contribué à l'émergence d'effets de difficulté séquentielle chez les adultes âgés.

En résumé, les travaux présentés dans ce travail de thèse visaient à étudier les variations stratégiques dans le domaine de la sensori-motricité au cours du vieillissement. L'objectif était de déterminer des caractéristiques communes aux variations stratégiques observées dans le domaine cognitif. Les résultats présentés dans cette thèse permettent une meilleure compréhension des mécanismes cognitifs sous-jacents au comportement sensori-moteur des adultes jeunes et âgés durant une tâche de Fitts. L'Expérience 1 a permis de montrer des différences liées à l'âge au niveau du répertoire, de la distribution et de l'exécution stratégiques. Les effets de séquence observés dans l'Expérience 2 ont suggéré une forte implication des FEs dans l'évolution avec l'âge des variations stratégiques dans la tâche de Fitts. L'Expérience 3 a suggéré l'implication de mécanismes généraux mais également de mécanismes spécifiques pour expliquer les effets de difficulté séquentielle observés dans les domaines cognitifs et sensori-moteurs au cours du vieillissement. Dans l'Expérience 4, nous avons montré une amplification de ces variations stratégiques au cours du vieillissement pathologique. Enfin, l'Expérience 5 a permis de montrer qu'un programme d'entraînement à la tâche de Fitts permettait d'améliorer l'exécution stratégique chez des patients âgés présentant des troubles cognitifs légers.

2. Implications générales

Les travaux ayant adopté une approche quantitative du vieillissement ont montré que, de manière générale, les adultes âgés obtenaient de moins bonnes performances que les adultes jeunes dans les tâches cognitives (e.g., Lemaire & Bherer, 2005) comme dans les tâches sensori-motrices (e.g., Shumway-Cook & Woollacott, 2007). Ils ont également montré que les corrélations entre les performances à différents domaines fonctionnels tels que les domaines cognitifs et sensori-moteurs, augmentaient fortement au cours du vieillissement (e.g., Schäfer et al., 2006). Les travaux ayant adopté une perspective stratégique ont montré que les adultes âgés utilisaient moins de stratégies, avaient des préférences stratégiques différentes et étaient moins efficaces pour sélectionner et exécuter les différentes stratégies, que les adultes jeunes (voir Lemaire, 2010; 2016 pour des revues). Les données rapportées dans cette thèse proposent une vision plus intégrée du vieillissement en soutenant l'idée que les approches quantitatives et qualitatives sont complémentaires. Nous avons fait l'hypothèse que les variations quantitatives peuvent influencer les variations qualitatives au cours du vieillissement. Plus précisément, nous suggérons que l'altération avec l'âge des ressources exécutives (FEs) influence l'évolution des variations stratégiques dans les domaines cognitifs et sensori-moteurs. L'évolution commune des variations stratégiques dans ces deux domaines serait ainsi la conséquence du déclin de mécanismes communs au cours du vieillissement.

Nous avons montré dans l'Expérience 1 que dans le domaine sensori-moteur, comme dans plusieurs autres domaines cognitifs (mémoire, résolution de problèmes, prise de décision), des variations stratégiques liées à l'âge pouvaient s'observer. Grâce à l'analyse cinématique du mouvement, nous avons pu interpréter chaque profil cinématique en termes de stratégie. Nous avons observé une diminution des performances au cours du vieillissement (i.e., les participants

âgés étaient plus lents que les adultes jeunes) mais également des différences quant à la manière dont ces participants traitent l'information (i.e., quelle stratégie ils mettent en œuvre). Par exemple, nos données montrent que comparativement aux adultes jeunes, les adultes âgés réduisent leur répertoire stratégique pour accomplir la tâche de Fitts. Ce phénomène a été observé dans plusieurs autres domaines. Dans le domaine de la résolution de problèmes, Ardiale et al. (2012) ont montré que les adultes âgés avaient plus de difficultés à sélectionner une stratégie pour résoudre un problème parmi trois stratégies différentes que lorsqu'on leur proposait uniquement deux stratégies. Ces résultats suggèrent que dans la tâche de Fitts, la réduction du répertoire stratégique pourrait aider les adultes âgés à maintenir leurs performances. Les futures recherches pourraient tester cette hypothèse en comparant les différences liées à l'âge lorsque le nombre de stratégies pouvant être utilisées est manipulé. Si la réduction du répertoire aide les adultes âgés à maintenir leurs performances, alors les différences liées à l'âge devraient être moins importantes dans le cas où ils devront choisir entre peu de stratégies que lorsqu'ils devront choisir entre plusieurs stratégies.

Il semblerait donc qu'il existe des principes communs à la cognition et à la sensorimotricité qui se retrouvent dans les variations stratégiques (e.g., la réduction du répertoire stratégique). Dans les études précédentes, d'autres variations communes ont été observées. Par exemple, Sleimen-Malkoun et al. (2013) ont montré que la diminution de la VTI pourrait être responsable du ralentissement observé dans les tâches cognitives et motrices. D'après (Salthouse, 1991, 1996) la diminution de la VTI au cours du vieillissement affecterait les performances par l'intermédiaire de deux mécanismes : le mécanisme du « temps limité » et le mécanisme de la « simultanété ». Selon le mécanisme du temps limité, le temps consacré aux processus précoces serait trop long et ne permettrait pas d'exécuter les processus plus tardifs dans le temps imparti. Selon le mécanisme de la simultanété, l'information issue des processus précoces de traitement

serait de moindre qualité ou déjà oubliée lorsqu'interviendraient les traitements les plus tardifs. Cette diminution de la VTI pourrait également influencer certaines dimensions des variations stratégiques au cours du vieillissement. D'autant plus que des études précédentes ont permis de montrer que la diminution de la capacité à sélectionner la meilleure stratégie était, en partie, médiatisée par le déclin avec l'âge de la VTI. Par exemple, dans l'expérience de Duverne et Lemaire (2004), les participants jeunes et âgés devaient effectuer une tâche de vérification d'inégalités arithmétiques plus ou moins complexes (e.g., $6 + 3 < 11$ ou $284 + 173 < 452$; vrai ou faux ?). Leurs résultats ont montré que les adultes âgés sélectionnaient moins souvent la meilleure stratégie que les adultes jeunes et que le déclin avec l'âge de la capacité à sélectionner la meilleure stratégie était médiatisé à 70% par la diminution de la VTI. Il semble donc important de prendre en compte le rôle de la diminution de la VTI dans l'explication des variations stratégiques liées à l'âge.

Par ailleurs, les effets de difficulté séquentielle observés dans l'Expérience 2 suggèrent un rôle crucial des FEs dans le domaine sensori-moteur et également pour influencer les variations stratégiques. En effet, nous avons pu voir que les participants étaient plus lents après avoir atteint une cible de petite taille ou utilisé une stratégie difficile, qu'après avoir atteint une cible de grande taille ou utilisé une stratégie facile. Ces résultats sont similaires aux résultats obtenus par Schneider et Anderson (2010) et Uittenhove & Lemaire (2012) dans le domaine de la résolution de problèmes. Dans ces études, les participants étaient plus lents après avoir résolu un problème difficile (e.g., $19 + 43 = 51$; vrai ou faux ?) ou utilisé une stratégie difficile (e.g., arrondir aux dizaines supérieures pour résoudre un problème comme 47×79), qu'après avoir résolu un problème facile (e.g., $19 + 43 = 69$; vrai ou faux ?) ou utilisé une stratégie facile (e.g., arrondir aux dizaines inférieures pour résoudre un problème comme 42×31). Ces phénomènes communs aux domaines cognitifs et sensori-moteurs suggèrent que les participants utiliseraient un même

ensemble de ressources (e.g., les FEs). Moins de ces ressources seraient disponibles après la mise en œuvre de processus complexes permettant de réaliser la tâche, ce qui affecterait les performances cognitives et sensori-motrices des participants. Dans le domaine de la résolution de problèmes, Hodzik et Lemaire (2011) ont montré que les FEs (i.e., inhibition et flexibilité) médiatisaient en moyenne 76% de la réduction avec l'âge du répertoire stratégique. Elles médiatisaient également 42% de la diminution des capacités de sélection stratégique. Ces résultats dans le domaine cognitif suggèrent que la diminution des FEs pourrait également médiatiser la réduction du répertoire stratégique dans la tâche de Fitts. Il serait intéressant dans de futures recherches de déterminer la part de variance expliquée par les FEs et la part de variance expliquée par la VTI dans l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement, à la fois dans les tâches cognitives et dans les tâches sensori-motrices. L'altération des FEs ainsi que la diminution de la VTI pourraient ensemble contribuer à l'évolution commune des performances cognitives et sensori-motrices au cours du vieillissement.

Les résultats de l'Expérience 4 montrent également en quoi la perspective stratégique permet de mieux comprendre comment les patients qui présentent des troubles cognitifs légers accomplissent la tâche de Fitts. De manière générale, le vieillissement pathologique se caractérise par un déclin amplifié des performances chez les patients par rapport aux adultes âgés sains. Toutefois, l'analyse des performances seule ne permet pas de dire si la maladie change la manière dont les patients cherchent à accomplir les tâches cognitives ou sensori-motrices. Grâce à l'analyse des stratégies, nous avons pu montrer que les patients et les adultes âgés sains accomplissent la tâche de Fitts de la même manière (i.e., en mettant en œuvre les mêmes stratégies). Cependant, nos résultats montrent également que les patients exécutent les différentes stratégies plus lentement que les adultes âgés sains. L'altération des FEs au cours de la maladie pourrait expliquer que les patients aient plus de difficultés que les adultes âgés sains à mettre en

œuvre des stratégies complexes requérant des ressources exécutives plus importantes. Des résultats similaires ont été trouvés dans le domaine de la résolution de problèmes et de la mémoire. Par exemple, dans une tâche de résolution de soustractions, Arnaud et al. (2008) ont montré que les adultes âgés sains et les patients atteints de la maladie d'Alzheimer (MA) utilisaient les deux stratégies (i.e., récupération ou non-récupération) dans les mêmes proportions, cependant les patients MA étaient significativement plus lents que les adultes âgés sains pour exécuter les stratégies, notamment lorsqu'ils devaient les utiliser pour résoudre des problèmes difficiles. Par ailleurs, les résultats de l'Expérience 5 montrent également qu'après avoir suivi un programme d'entraînement à la tâche de Fitts, les patients présentant des troubles cognitifs légers amélioraient nettement la vitesse à laquelle ils exécutent les différentes stratégies. Nous avons également comparé les performances des patients ayant suivi un entraînement avec celles des adultes âgés sains au cours de l'exécution stratégique ; nous n'avons observé aucune différence. Ce résultat montre qu'après avoir suivi un entraînement à la tâche de Fitts, les patients exécutent les différentes stratégies aussi efficacement que les adultes âgés sains. L'entraînement semble donc avoir un effet bénéfique sur les variations stratégiques (voir Simons et al., 2016 pour une revue sur les effets bénéfiques de l'entraînement). Il serait intéressant dans de futures recherches de proposer un programme d'entraînement à des adultes âgés sains afin de savoir si dans cette population les variations stratégiques peuvent être améliorées et s'apparenter à celles observées chez les adultes jeunes.

3. Conclusion

Les travaux réalisés au cours de cette thèse avaient pour objectif d'étudier les variations stratégiques dans la tâche de Fitts. Nous avons donc mené plusieurs études comportementales

afin de déterminer les caractéristiques communes des variations stratégiques liées à l'âge dans les domaines cognitifs et sensori-moteurs. Nous avons montré que les données obtenues dans la tâche de Fitts répliquent les principaux résultats du domaine cognitif concernant l'évolution du répertoire, de la distribution, de l'exécution et de la sélection stratégiques au cours du vieillissement. Nos résultats suggèrent également un rôle majeur des FEs dans l'évolution avec l'âge des variations stratégiques dans les tâches cognitives et sensori-motrices mais également dans l'évolution des variations stratégiques au cours du vieillissement pathologique. La perspective stratégique, adoptée ici, permet d'aller au-delà du simple constat que les adultes âgés ont de moins bonnes performances que les adultes jeunes. Elle explique les différences de performances entre adultes jeunes et âgés par une différence dans le nombre de stratégies utilisées, dans la fréquence avec laquelle les stratégies disponibles sont utilisées, dans le choix de la stratégie utilisée sur chaque item et dans l'efficacité avec laquelle les stratégies sont mises en œuvre, offrant ainsi une meilleure compréhension du vieillissement sensori-moteur. L'originalité de cette thèse repose sur une conception générale du vieillissement cognitif et sensori-moteur selon laquelle la diminution des performances avec l'âge résulte de facteurs quantitatifs (e.g., diminution des FEs) et qualitatifs (e.g., utilisation de stratégies diverses et variées). La combinaison de l'approche quantitative et qualitative permet ainsi de mieux décrire et expliquer (i.e., en termes de mécanismes) ce qui se dégrade et ce qui reste stable au cours du vieillissement.

∞

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- Amboni, M., Barone, P., & Hausdorff, J. M. (2013). Cognitive contributions to gait and falls: evidence and implications. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 28(11), 1520–1533. doi:10.1002/mds.25674
- Amrhein, P. C., Stelmach, G. E., & Goggin, N. L. (1991). Age differences in the maintenance and restructuring of movement preparation. *Psychology and Aging*, 6(3), 451–466. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1930762>
- Anderson, N. D., & Craik, F. I. M. (2000). Memory in the aging brain. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Eds.), *The Oxford handbook of memory* (pp. 411–425). New York: Oxford University Press.
- Andersson, M., Reinvang, I., Wehling, E., Hugdahl, K., & Lundervold, A. (2008). A dichotic listening study of attention control in older adults. *Scandinavian Journal of Psychology*, 49(4), 299–304.
- Anstey, K. J. (1999). Sensorimotor Variables and Forced Expiratory Volume as Correlates of Speed, Accuracy, and Variability in Reaction Time Performance in Late Adulthood. *Neuropsychology, and Cognition*, 6, 84–95.
- Anstey, K. J., Hofer, S. M., & Luszcz, M. A. (2003). Cross-sectional and longitudinal patterns of dedifferentiation in late-life cognitive and sensory function: the effects of age, ability, attrition, and occasion of measurement. *Journal of Experimental Psychology. General*, 132(3), 470–487. doi:10.1037/0096-3445.132.3.470
- Anstey, K. J., Lord, S. R., & Williams, P. (1997). Strength in the lower limbs, visual contrast sensitivity, and simple reaction time predict cognition in older women. *Psychology and Aging*, 12(1), 137–44. doi:10.1037/0882-7974.12.1.137
- Anstey, K. J., & Smith, G. a. (1999). Interrelationships among biological markers of aging, health, activity, acculturation, and cognitive performance in late adulthood. *Psychology and Aging*, 14(4), 605–618. doi:10.1037/0882-7974.14.4.605
- Anstey, K., Luszcz, M., & Sanchez, L. (2001). A reevaluation of the common factor theory of shared variance among age, sensory function, and cognitive function in older adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 56(1), 3–11. doi:10.1093/geronb/56.1.P3
- Ardiale, E., Hodzick, S., & Lemaire, P. (2012). Aging and strategy switch costs: A study in arithmetic problem solving. *L'Année Psychologique*, 112(03), 345–360. doi:10.4074/S0003503312003028
- Ardiale, E., & Lemaire, P. (2012). Within-item strategy switching: an age comparative study in adults. *Psychology and Aging*, 27(4), 1138–51. doi:10.1037/a0027772

- Ardiale, E., & Lemaire, P. (2013). Effects of execution duration on within-item strategy switching in young and older adults. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(4), 464–472.
- Arnaud, L., Lemaire, P., Allen, P., & Michel, B. F. (2008). Strategic aspects of young, healthy older adults', and Alzheimer patients' arithmetic performance. *Cortex*, 44, 119–130. doi:10.1016/j.cortex.2006.03.001
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baltes, P., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a Powerful Connection Between Sensory and Cognitive Functions Across the Adult Life Span: A New Window to the Study of Cognitive Aging? *Psychology and Aging*, 12(1), 12–21. doi:10.1037//0882-7974.12.1.12
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195–207. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8868277>
- Bennett, S. J., Elliott, D., & Rodacki, A. (2012). Movement strategies in vertical aiming of older adults. *Experimental Brain Research*, 216(3), 445–455. doi:10.1007/s00221-011-2947-x
- Bherer, L., & Belleville, S. (2004). Age-Related Differences in Response Preparation: The Role of Time Uncertainty. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 59(2), 66–74. doi:10.1093/geronb/59.2.P66
- Bouazzaoui, B., Isingrini, M., Fay, S., Angel, L., Vanneste, S., Clarys, D., & Taconnat, L. (2010). Aging and self-reported internal and external memory strategy uses: The role of executive functioning. *Acta Psychologica*, 135(1), 59–66. doi:10.1016/j.actpsy.2010.05.007
- Brauer, S. G., Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2001). The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(8), 489–496. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11487601>
- 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. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12456737>
- Cansino, S. (2009). Episodic memory decay along the adult lifespan: A review of behavioral and neurophysiological evidence. *International Journal of Psychophysiology*, 71(1), 64–69. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.07.005
- Carrasco, M. C., Guillem, M. J., & Redolat, R. (2000). Estimation of short temporal intervals in Alzheimer's disease. *Experimental Aging Research*, 26(2), 139–51. doi:10.1080/036107300243605

- Chi, M. T. H., & Glaser, R. (1985). Problem-solving ability. In R. J. Sternberg (Ed.), *Human abilities: An information-processing approach* (pp. 227–257). San Francisco, CA: W. H. Freeman & Co.
- Christensen, H., Mackinnon, A. J., Korten, A., & Jorm, A. F. (2001). The “Common Cause Hypothesis” of Cognitive Aging: Evidence for Not Only a Common Factor but Also Specific Associations of Age With Vision and Grip Strength in a Cross-Sectional Analysis. *Psychology and Aging, 16*(4), 588–599. doi:10.1037//0882-7974.16A588
- Collette, F., & Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie Française, 59*(1), 41–58. doi:10.1016/j.psfr.2013.03.006
- Contreras-Vidal, J. L., Teulings, H. L., & Stelmach, G. E. (1998). Elderly subjects are impaired in spatial coordination in fine motor control. *Acta Psychologica, 100*(1-2), 25–35. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9844554>
- Craik, F. I. M. (1977). Age differences in human memory. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology*. New-York: Van Nostrand Reinhold.
- Craik, F. I. M. (1986). A functional account of age differences in memory. In F. Lix & H. Hagenendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities, mechanisms, and performances* (pp. 409–422). Amsterdam: Elsevier Science.
- Craik, F. I. M., Byrd, M., & Swanson, J. M. (1987). Patterns of memory loss in three elderly samples. *Psychology and Aging, 2*(1), 79–86. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3268196>
- Craik, F. I. M., & Salthouse, T. A. (2008). *The Handbook of Aging and Cognition: Third edition*. New York: Psychology Press.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19*(4), 450–466. doi:10.1016/S0022-5371(80)90312-6
- DeDe, G., Caplan, D., Kemtes, K., & Waters, G. (2004). The relationship between age, verbal working memory, and language comprehension. *Psychology and Aging, 19*(4), 601.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135–168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Dixon, R. A., & Hultsch, D. F. (1983). Structure and development of metamemory in adulthood. *Journal of Gerontology, 38*(6), 682–688. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6630902>

- Dounskaia, N., Wisleder, D., & Johnson, T. (2005). Influence of biomechanical factors on substructure of pointing movements. *Experimental Brain Research*, *164*(4), 505–516. doi:10.1007/s00221-005-2271-4
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (1998). Aging and deficits in associative memory: What is the role of strategy production? *Psychology and Aging*, *13*(4), 597–607.
- Durkin, M., Prescott, L., Furchtgott, E., Cantor, J., & Powell, D. A. (1995). Performance but not acquisition of skill learning is severely impaired in the elderly. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *20*, 167–183.
- Duverne, S., & Lemaire, P. (2004). Age-related differences in arithmetic problem-verification strategies. *Psychological Sciences and Social Sciences*, *59*(3), 135–142.
- Duverne, S., Lemaire, P., & Michel, B. F. (2003). Alzheimer's disease disrupts arithmetic fact retrieval processes but not arithmetic strategy selection. *Brain & Cognition*, *52*, 302–318. doi:10.1016/S0278-2626(03)00168-4
- Duverne, S., Lemaire, P., & Vandierendonck, A. (2008). Do working-memory executive components mediate the effects of age on strategy selection or on strategy execution? Insights from arithmetic problem solving. *Psychological Research*, *72*, 27–38. doi:10.1007/s00426-006-0071-5
- Elliott, D., Hansen, S., & Grierson, L. E. M. (2009). Optimising speed and energy expenditure in accurate visually directed upper limb movements. In *Ergonomics* (Vol. 52, pp. 438–47). doi:10.1080/00140130802707717
- Elliott, D., Hansen, S., Grierson, L. E. M., Lyons, J., Bennett, S. J., & Hayes, S. J. (2010). Goal-directed aiming: two components but multiple processes. *Psychological Bulletin*, *136*(6), 1023–44. doi:10.1037/a0020958
- Elliott, D., Hansen, S., Mendoza, J., & Tremblay, L. (2004). Learning to optimize speed, accuracy, and energy expenditure: A framework for understanding speed-accuracy relations in goal-directed aiming. *Journal of Motor Behavior*, *36*(3), 339–351. doi:10.3200/JMBR.36.3.339-351
- Elliott, D., Helsen, W. F., & Chua, R. (2001). A century later: Woodworth's (1899) two-component model of goal-directed aiming. *Psychological Bulletin*, *127*(3), 342–357. doi:10.1037//0033-2909.127.3.342
- Falkenstein, M., Yordanova, J., & Kolev, V. (2006). Effects of aging on slowing of motor-response generation. *International Journal of Psychophysiology*, *59*(1), 22–29. doi:10.1016/j.ijpsycho.2005.08.004
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology: General*, *47*, 381–391.

- Fozard, J. L., Vercryssen, M., Reynolds, S. L., Hancock, P. A., & Quilter, R. E. (1994). Age differences and changes in reaction time: The Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Journal of Gerontology*, 49(4), 179–189. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8014399>
- Fradet, L., Lee, G., & Dounskaia, N. (2008a). Origins of submovements during pointing movements. *Acta Psychologica*, 129(1), 91–100. doi:10.1016/j.actpsy.2008.04.009
- Fradet, L., Lee, G., & Dounskaia, N. (2008b). Origins of submovements in movements of elderly adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 5, 28. doi:10.1186/1743-0003-5-28
- Froger, C., Bouazzaoui, B., Isingrini, M., & Taconnat, L. (2012). Study time allocation deficit of older adults: The role of environmental support at encoding? *Psychology and Aging*, 27(3), 577–588. doi:10.1037/a0026358
- Gandini, D., Lemaire, P., Anton, J.-L., & Nazarian, B. (2008). Neural correlates of approximate quantification strategies in young and older adults: An fMRI study. *Brain Research*, 1246, 144–157. doi:10.1016/j.brainres.2008.09.096
- Gandini, D., Lemaire, P., & Dufau, S. (2008). Older and younger adults' strategies in approximate quantification. *Acta Psychologica*, 129(1), 175–189. doi:10.1016/j.actpsy.2008.05.009
- Gandini, D., Lemaire, P., & Michel, B. F. (2009). Approximate quantification in young, healthy older adults', and Alzheimer patients. *Brain and Cognition*, 70(1), 53–61. doi:10.1016/j.bandc.2008.12.004
- Geary, D. C., & Lin, J. (1998). Numerical cognition: age-related differences in the speed of executing biologically primary and biologically secondary processes. *Experimental Aging Research*, 24(2), 101–137. doi:10.1080/036107398244274
- Gilhooly, K. J., Wynn, V., Phillips, L. H., Logie, R. H., & Della Sala, S. (2002). Visuo-spatial and verbal working memory in the five-disc Tower of London task: An individual differences approach. *Thinking & Reasoning*, 8, 165–178. doi:10.1080/13546780244000006
- Goggin, N. L., & Meeuwssen, H. J. (1992). Age-Related differences in the control of spatial aiming movements. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 63(4), 366–372. doi:10.1080/02701367.1992.10608758
- Greene, L. S., & Williams, H. G. (1996). Aging and Coordination from the Dynamic Pattern Perspective. In *Advances in Psychology* (Vol. 114, pp. 89–131). doi:10.1016/S0166-4115(96)80007-0
- Gregory, R. L. (1957). Increase in “neurological noise” as a factor in aging. In *Proceedings of the Fourth International Congress of the International Association on Gerontology* (Vol. 1, pp. 314–324). Merano, Italy.

- Grieder, M., Crinelli, R. M., Koenig, T., Wahlund, L.-O., Dierks, T., & Wirth, M. (2012). Electrophysiological and behavioral correlates of stable automatic semantic retrieval in aging. *Neuropsychologia*, *50*(1), 160–171. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2011.11.014
- Haaland, K. Y., Harrington, D. L., & Grice, J. W. (1993). Effects of aging on planning and implementing arm movements. *Psychology and Aging*, *8*(4), 617–632.
- Hale, S., Myerson, J., & Wagstaff, D. (1987). General slowing of nonverbal information processing: Evidence for a power law. *Journal of Gerontology*, *42*(2), 131–136. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3819335>
- Haring, A. E., Zhuravleva, T. Y., Alperin, B. R., Rentz, D. M., Holcomb, P. J., & Daffner, K. R. (2013). Age-related differences in enhancement and suppression of neural activity underlying selective attention in matched young and old adults. *Brain Research*, *1499*, 69–79. doi:10.1016/j.brainres.2013.01.003
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working Memory, Comprehension, and Aging: A Review and a New View. *Psychology of Learning and Motivation*, *22*, 193–225. doi:10.1016/S0079-7421(08)60041-9
- Hausdorff, J. M., Edelberg, H. K., Mitchell, S. L., Goldberger, A. L., & Wei, J. Y. (1997). Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *78*(3), 278–283. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9084350>
- Heine, M. K., Ober, B. A., & Shenaut, G. K. (1999). Naturally occurring and experimentally induced tip-of-the-tongue experiences in three adult age groups. *Psychology and Aging*, *14*(3), 445–457. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10509699>
- Hinault, T., Dufau, S., & Lemaire, P. (2014). Sequential modulations of poorer-strategy effects during strategy execution: An event-related potential study in arithmetic. *Brain and Cognition*, *91*, 123–130. doi:10.1016/j.bandc.2014.09.001
- Hinault, T., Dufau, S., & Lemaire, P. (2015). Strategy combination in human cognition: a behavioral and ERP study in arithmetic. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(1), 190–199. doi:10.3758/s13423-014-0656-8
- Hinault, T., & Lemaire, P. (2016). Strategy use. In D. Jiang, M. C. H. Chan, M. Lu, & H. H. Fung (Eds.), *Encyclopedia of Geropsychology* (pp. 1–8). doi:10.1007/978-981-287-080-3
- Hodzik, S., & Lemaire, P. (2011). Inhibition and shifting capacities mediate adults' age-related differences in strategy selection and repertoire. *Acta Psychologica*, *137*(3), 335–344. doi:10.1016/j.actpsy.2011.04.002

- Hofer, S. M., & Sliwinski, M. J. (2001). Understanding Ageing: An Evaluation of Research Designs for Assessing the Interdependence of Ageing-Related Changes. *Behavioural Science Section Gerontology*, 47, 341–352. Retrieved from www.karger.com
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369–1381.
- Huxhold, O., Li, S.-C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin*, 69(3), 294–305. doi:10.1016/j.brainresbull.2006.01.002
- Huys, R., Fernandez, L., Bootsma, R. J., & Jirsa, V. K. (2010). Fitts' law is not continuous in reciprocal aiming. *Proceeding of the Royal Society B*, 277, 1179–1184. doi:10.1098/rspb.2009.1954
- Isingrini, M., Hauer, K., & Fontaine, R. (1996). Effet du vieillissement sur les réponses basées sur la familiarité et sur la recherche en situation de reconnaissance. *L'année Psychologique*, 96(2), 255–273. doi:10.3406/psy.1996.28895
- Isingrini, M., & Tacconat, L. (1997). Aspects du vieillissement normal de la mémoire. *Psychologie Française*, 42(4), 319–331.
- Jamet, M., Deviterne, D., Gauchard, G. C., Vançon, G., & Perrin, P. P. (2004). Higher visual dependency increases balance control perturbation during cognitive task fulfilment in elderly people. *Neuroscience Letters*, 359(1-2), 61–64. doi:10.1016/j.neulet.2004.02.010
- Jenkins, L., Myerson, J., Joerding, J. A., & Hale, S. (2000). Converging Evidence That Visuospatial Cognition Is More Age-Sensitive Than Verbal Cognition. *Psychology and Aging*, 15(1), 157–175.
- Ketcham, C. J., Seidler, R. D., Van Gemmert, A. W. A., & Stelmach, G. E. (2002). Age-related kinematic differences as influenced by task difficulty, target size, and movement amplitude. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 57B(1), 54–64. doi:10.1093/geronb/57.1.P54
- Ketcham, C. J., & Stelmach, G. E. (2001). Age-related declines in motor control. In J. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (pp. 313–348). San Diego: Academic Press. Retrieved from https://books.google.fr/books?hl=en&lr=&id=wXyB_tyeoYAC&oi=fnd&pg=PA313&dq=A+ge-related+declines+in+motor+control&ots=VtrZu0Zu-I&sig=uo91rLsXUKI3UfKphsEyjrKzZnc
- Kolev, V., Falkenstein, M., & Yordanova, J. (2006). Motor-response generation as a source of aging-related behavioural slowing in choice-reaction tasks. *Neurobiology of Aging*, 27(11), 1719–1730. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2005.09.027

- Kray, J., Eber, J., & Lindenberger, U. (2004). Age differences in executive functioning across the lifespan: the role of verbalization in task preparation. *Acta Psychologica, 115*(2-3), 143–65. doi:10.1016/j.actpsy.2003.12.001
- Kray, J., Li, K. Z. H., & Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in task-switching components: the role of task uncertainty. *Brain and Cognition, 49*(3), 363–381. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12139959>
- Kuhlmann, B. G., & Touron, D. R. (2012). Mediator-based encoding strategies in source monitoring in young and older adults. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition, 38*(5), 1352–64. doi:10.1037/a0027863
- Kynette, D., Kemper, S., Norman, S., & Cheung, H. (1990). Adults' word recall and word repetition. *Experimental Aging Research, 16*(3), 117–121.
- Lemaire, P. (2010). Cognitive strategy variations during aging. *Current Directions in Psychological Science, 19*, 363–369.
- Lemaire, P. (2016a). *Cognitive aging: The role of strategies*. London: Psychology Press.
- Lemaire, P. (2016b). *Cognitive aging: The role of strategies*. London: Psychology Press.
- Lemaire, P., & Arnaud, L. (2008). Young and older adults' strategies in complex arithmetic. *The American Journal of Psychology, 121*(1), 1–16.
- Lemaire, P., Arnaud, L., & Lecacheur, M. (2004). Adults' age-related differences in adaptivity of strategy choices: Evidence from computational estimation. *Psychology and Aging, 19*(3), 467–481. doi:10.1037/0882-7974.19.3.467
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement: Une perspective cognitive*. (p. 469). Bruxelles: De Boeck Université.
- Lemaire, P., & Hinault, T. (2014). Age-related differences in sequential modulations of poorer-strategy effects: A study in arithmetic problem solving. *Experimental Psychology, 61*(4), 253–262. doi:10.1027/1618-3169/a000105
- Lemaire, P., & Lecacheur, M. (2001). Older and younger adults' strategy use and execution in currency conversion tasks: insights from French franc to euro and euro to French franc conversions. *Journal of Experimental Psychology. Applied, 7*(3), 195–206. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11676098>
- Lemaire, P., & Lecacheur, M. (2007). Aging and numerosity estimation. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences, 62*(6), 305–312. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18079414>

- Lemaire, P., & Lecacheur, M. (2010). Strategy switch costs in arithmetic problem solving. *Memory & Cognition*, 38(3), 322–332. doi:10.3758/MC.38.3.322
- Lemaire, P., & Leclère, M. (2014a). Strategy repetition in young and older adults: a study in arithmetic. *Developmental Psychology*, 50(2), 460–468. doi:10.1037/a0033527
- Lemaire, P., & Leclère, M. (2014b). Strategy selection in Alzheimer patients: a study in arithmetic. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 36(5), 507–516. doi:10.1080/13803395.2014.911248
- Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, 27(2), 364–382. doi:10.3758/BF03211420
- Lemaire, P., & Siegler, R. S. (1995). Four aspects of strategic change: Contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(1), 83–97. doi:10.1037//0096-3445.124.1.83
- Li, K. Z. H., & Lindenberger, U. (2002). Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(7), 777–783.
- 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. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11437306>
- Li, S. C., Aggen, S. H., Nesselroade, J. R., & Baltes, P. B. (2001). Short-Term Fluctuations in Elderly People's Sensorimotor Functioning Predict Text and Spatial Memory Performance: The MacArthur Successful Aging Studies. *Gerontology*, 47(2), 100–116.
- Li, S. C., & Lindenberger, U. (1999). Cross-level unification: A computational exploration of the link between deterioration of neurotransmitter systems and dedifferentiation of cognitive abilities in old age. In *Cognitive Neuroscience of Memory* (pp. 103–146). Hogrefe & Huber.
- Li, S. C., Lindenberger, U., & Sikström, S. (2001). Aging cognition: From neuromodulation to representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(11), 479–486. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11684480>
- Li, S.-C., Jordanova, M., & Lindenberger, U. (1998). From Good Senses to Good Sense: A Link Between Tactile Information Processing and Intelligence. *Intelligence*, 26(2), 99–122.
- Light, K. E., & Spirduso, W. W. (1990). Effects of adult aging on the movement complexity factor of response programming. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 45(3), 107–109.
- Light, L. L. (1992). The organization of memory in old age. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 111–166). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychology and Aging, 9*(3), 339–55. doi:10.1037/0882-7974.9.3.339
- Lindenberger, U., & Ghisletta, P. (2009). Cognitive and sensory declines in old age: Gauging the evidence for a common cause. *Psychology and Aging, 24*(1), 1–16. doi:10.1037/a0014986
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging, 15*(3), 417–436. doi:10.1037/0882-7974.15.3.417
- Loewen, E. R., Shaw, R. J., & Craik, F. I. (1990). Age differences in components of metamemory. *Experimental Aging Research, 16*(1-2), 43–48. doi:10.1080/03610739008253873
- Lövdén, M., Schellenbach, M., Grossman-Hutter, B., Krüger, A., & Lindenberger, U. (2005). Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology and Aging, 20*(4), 683–694. doi:10.1037/0882-7974.20.4.683
- Lyons, J., Hansen, S., Hurding, S., & Elliott, D. (2006). Optimizing rapid aiming behaviour: Movement kinematics depend on the cost of corrective modifications. *Experimental Brain Research, 174*(1), 95–100. doi:10.1007/s00221-006-0426-6
- Maquestiaux, F. (2013). *Psychologie de l'attention* (p. 260). Bruxelles: De Boeck Université.
- Mata, R., & Nunes, L. (2010). When less is enough: Cognitive aging, information search, and decision quality in consumer choice. *Psychology and Aging, 25*(2), 289–98. doi:10.1037/a0017927
- McAvinue, L. P., Habekost, T., Johnson, K. A., Kyllingsbæk, S., Vangkilde, S., Bundesen, C., & Robertson, I. H. (2012). Sustained attention, attentional selectivity, and attentional capacity across the lifespan. *Attention, Perception, & Psychophysics, 74*(8), 1570–1582. doi:10.3758/s13414-012-0352-6
- McCabe, D. P., Roediger, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D. A., & Hambrick, D. Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology, 24*(2), 222–243. doi:10.1037/a0017619
- Meyer, D. E., Abrams, R. A., Kornblum, S., Wright, C. E., & Smith, J. E. K. (1988). Optimality in Human motor performance: ideal control of rapid aimed movements. *Psychological Review, 95*(3), 340–370.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex

- “Frontal Lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Montero-Odasso, M., Annweiler, C., Hachinski, V., Islam, A., Yang, N., & Vasudev, A. (2012). Vascular burden predicts gait, mood, and executive function disturbances in older adults with mild cognitive impairment: results from the gait and brain study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(10), 1–7.
- Montero-Odasso, M., & Hachinski, V. (2014). Preludes to brain failure: executive dysfunction and gait disturbances. *Neurological Sciences*, 35, 601–604. doi:10.1007/s10072-013-1613-4
- Moussard, A., Bigand, E., Clément, S., & Samson, S. (2008). Préservation des apprentissages implicites en musique dans le vieillissement normal et la maladie d’Alzheimer. *Revue de Neuropsychologie*, 18(1-2), 127–152.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Ott, B. R., Ellias, S. A., & Lannon, M. C. (1995). Quantitative assessment of movement in Alzheimer’s disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 8(1), 71–75. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7710652>
- Park, D., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(2), 299–320. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12061414>
- Park, D., & Schwarz, N. (2000). *Cognitive Aging: A primer*. Philadelphia: Psychology Press. Retrieved from <https://books.google.fr/books?hl=en&lr=&id=LXJ3SeXoHvoC&oi=fnd&pg=PR1&dq=cognitive+aging+a+primer+park+schwarz&ots=keorLB2iM-&sig=fm2RtMsNUbD78-p6LgpbsvfRepY>
- Park, D., Smith, A. D., Lautenschlager, G., Earles, J. L., Frieske, D., Zwahr, M., & Gaines, C. L. (1996). Mediators of long-term memory performance across the life span. *Psychology and Aging*, 11(4), 621–637. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9000294>
- Pratt, J., Chasteen, A. L., & Abrams, R. A. (1994). Rapid aimed limb movements: age differences and practice effects in component submovements. *Psychology and Aging*, 9(2), 325–334.
- Rey-Robert, B., Temprado, J.-J., & Berton, E. (2011). Aging and changes in complexity in the neurobehavioral system. *Medicina*, 47(1), 1–10.
- Rey-Robert, B., Temprado, J.-J., Lemaire, P., & Berton, E. (2012). Combining movement kinematics, efficiency functions, and Brinley plots to study age-related slowing of sensorimotor processes: Insights from Fitts’ task. *Gerontology*, 58(2), 171–180. doi:10.1159/000329347

- Salthouse, T. A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychological Science*, 2(3), 179–183.
- Salthouse, T. A. (1992). Why do adult age differences increase with task complexity? *Developmental Psychology*, 28(5), 905–918. doi:10.1037/0012-1649.28.5.905
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403–428.
- Salthouse, T. A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 754–760. doi:10.1017/S1355617710000706
- Salthouse, T. A., & Babcock, R. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology*, 27(5), 763–776. doi:10.1037/0012-1649.27.5.763
- Salthouse, T. A., Hancock, H. E., Meinz, E. J., & Hambrick, D. Z. (1996). Interrelations of Age, Visual Acuity, and Cognitive Functioning. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 51(6), 317–333.
- Salthouse, T. A., & Prill, K. (1987). Inferences about age impairments in inferential reasoning. *Psychology and Aging*, 2, 43–51. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3268191>
- Schaefer, S., & Schumacher, V. (2010). 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. doi: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(2), 45–54. doi:10.1007/s11556-006-0007-5
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn Jr., J. T. (1979). Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86(5), 415.
- Schneider, D. W., & Anderson, J. R. (2010). Asymmetric switch costs as sequential difficulty effects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(10), 1873–1894. doi:10.1080/17470211003624010
- Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., & Stine-Morrow, E. a. L. (2016). Do “Brain-Training” Programs Work? *Psychological Science in the Public Interest*, 17, 103–186. doi:10.1177/1529100616661983
- Shake, M. C., Noh, S. R., & Stine-Morrow, E. A. L. (2009). Age Differences in Learning from Text: Evidence for Functionally Distinct Text Processing Systems. *Applied Cognitive Psychology*, 23(4), 561–578. doi:10.1002/acp

- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2007). *Motor Control: Translating Research Into Clinical Practice*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkin.
- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J., Huys, R., Jirsa, V., & Berton, E. (2012). Is fitts' law continuous in discrete aiming? *PLoS ONE*, *7*(7), e41190. doi:10.1371/journal.pone.0041190
- 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. doi:10.3389/fnagi.2013.00062
- Slifkin, A. B., & Newell, K. M. (1999). Noise, information transmission, and force variability. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception, and Performance*, *25*(3), 837–851.
- Sliwinski, M., & Hofer, S. (1999). How strong is the evidence for mediational hypotheses of age-related memory loss? Commentary. *Gerontology*, *45*(6), 351–354. doi:22120
- Smith, A. D. (1977). Adult age differences in cued recall. *Developmental Psychology*, *13*(4), 326–331. doi:10.1037/0012-1649.13.4.326
- Sosnoff, J. J., & Newell, K. M. (2006). The generalization of perceptual-motor intra-individual variability in young and old Adults. *The Journals of Gerontology*, *61*(5), 304–310. doi:10.1093/geronb/61.5.P304
- Spirduso, W. (2005). *Physical Dimensions of Aging. Medicine & Science in Sports & Exercise* (Vol. 28, pp. 398–399). Human Kinetics.
- Staub, B., Doignon-Camus, N., Després, O., & Bonnefond, A. (2013). Sustained attention in the elderly: What do we know and what does it tell us about cognitive aging? *Ageing Research Reviews*, *12*(2), 459–468. doi:10.1016/j.arr.2012.12.001
- Stine-Morrow, E. A. L., Miller, L. M. S., & Hertzog, C. (2006). Aging and self-regulated language processing. *Psychological Bulletin*, *132*(4), 582–606. doi:10.1037/0033-2909.132.4.582
- Taconnat, L., Baudouin, A., Fay, S., Clarys, D., Vanneste, S., Tournelle, L., & Isingrini, M. (2006). Aging and implementation of encoding strategies in the generation of rhymes: the role of executive functions. *Neuropsychology*, *20*(6), 658–665. doi:10.1037/0894-4105.20.6.658
- Taconnat, L., & Lemaire, P. (2013). Fonctions exécutives, vieillissement cognitif et variations stratégiques. *Psychologie Française*. doi:10.1016/j.psfr.2013.03.007
- Taconnat, L., Raz, N., Toczé, C., Bouazzaoui, B., Sauzeon, H., Fay, S., & Isingrini, M. (2009). Aging and organization strategies infree recall: The role of cognitive flexibility. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*(2-3), 347–365.

- Taillan, J., Ardiale, E., & Lemaire, P. (2015). Relationships Between Strategy Switching and Strategy Switch Costs in Young and Older Adults: A Study in Arithmetic Problem Solving. *Experimental Aging Research, 41*(2), 136–156. doi:10.1080/0361073X.2015.1001651
- Teeken, J. C., Adam, J. J., Paas, F. G. W. C., Boxtel, M. P. J. Van, Houx, P. J., & Jolles, J. (1996). Effects of age and gender on discrete and reciprocal aiming movements. *Psychology and Aging, 11*(2), 195–198.
- Temprado, J.-J., Sleimen-Malkoun, R., Lemaire, P., Rey-Robert, B., Retornaz, F., & Berton, E. (2013). Aging of sensorimotor processes: A systematic study in Fitts' task. *Experimental Brain Research, 228*(1), 105–116. doi:10.1007/s00221-013-3542-0
- Tombaugh, T. N. (2004). Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology, 19*(2), 203–214. doi:10.1016/S0887-6177(03)00039-8
- Tournier, I., & Postal, V. (2011). Strategy selection and aging: impact of item concreteness in paired-associate task. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition, 18*(2), 195–213. doi:10.1080/13825585.2010.525623
- Uittenhove, K., & Lemaire, P. (2012). Sequential difficulty effects during strategy execution: A study in arithmetic. *Experimental Psychology, 59*(5), 295–301. doi:10.1027/1618-3169/a000157
- Uittenhove, K., & Lemaire, P. (2013a). Strategy sequential difficulty effects in Alzheimer patients: A study in arithmetic. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 35*, 83–89.
- Uittenhove, K., & Lemaire, P. (2013b). Strategy sequential difficulty effects vary with working-memory and response-stimulus-intervals: A study in arithmetic. *Acta Psychologica, 143*, 113–118. doi:10.1016/j.actpsy.2013.02.007
- Uittenhove, K., Poletti, C., Dufau, S., & Lemaire, P. (2013). The time course of strategy sequential difficulty effects: An ERP study in arithmetic. *Experimental Brain Research, 227*(1), 1–8. doi:10.1007/s00221-012-3397-9
- Vecchi, T., & Cornoldi, C. (1999). Passive Storage and Active Manipulation in Visuo-spatial Working Memory: Further Evidence From the Study of Age Differences. *European Journal of Cognitive Psychology, 11*(3), 391–406.
- Vergheze, J., Mahoney, J., Ambrose, A. F., Wang, C., & Holtzer, R. (2010). Effect of cognitive remediation on gait in sedentary seniors. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences, 65*, 1338–1343. doi:10.1093/gerona/glq127
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary scores: a meta-analysis. *Psychology and Aging, 18*(2), 332–339. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12825780>

- Welford, A. T. (1981). Signal, noise, performance, and age. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 23(1), 97–109. doi:10.1177/001872088102300109
- Welford, A. T., Norris, A. T., & Shock, N. W. (1969). Speed and accuracy of movement and their changes with age. *Acta Psychologica*, 30, 3–15.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120(2), 272–292. doi:10.1037/0033-2909.120.2.272
- Wilson, R. S., Beckett, L. A., Barnes, L. L., Schneider, J. A., Bach, J., Evans, D. A., & Bennett, D. A. (2002). Individual differences in rates of change in cognitive abilities of older persons. *Psychology and Aging*, 17(2), 179–193. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12061405>
- Wishart, L. R., Lee, T. D., Murdoch, J. E., & Hodges, N. J. (2000). Effects of aging on automatic and effortful processes in bimanual coordination. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 55(2), P85–94. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10794187>
- Woodworth, R. S. (1899). Accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, 3(3).
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait and Posture*, 16, 1–14. doi:10.1016/S0966-6362(01)00156-4
- Wright, B. M., & Payne, R. B. (1985). Effects of aging on sex differences in psychomotor reminiscence and tracking proficiency. *Journal of Gerontology*, 40(2), 179–184. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3973358>
- Yagoubi, R. El, Lemaire, P., & Besson, M. (2005). Effects of Aging on Arithmetic Problem-Solving: An Event-related Brain Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(1), 37–50.
- Yan, J. H. (2000). Effects of aging on linear and curvilinear aiming arm movements. *Experimental Aging Research*, 26(4), 393–407. doi:10.1080/036107300750015778
- Yan, J. H., Rountree, S., Massman, P., Doody, R. S., & Li, H. (2008). Alzheimer's disease and mild cognitive impairment deteriorate fine movement control. *Journal of Psychiatric Research*, 42, 1203–1212. doi:10.1016/j.jpsychires.2008.01.006
- Yan, J. H., Thomas, J. R., & Stelmach, G. E. (1998). Aging and rapid aiming arm movement control. *Experimental Aging Research*, 24, 155–68. doi:10.1080/036107398244292
- Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E., & Thomas, K. (2000). Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of Motor Behavior*, 32(2), 121–140.

- Yordanova, J., Kolev, V., Hohnsbein, J., & Falkenstein, M. (2004). Sensorimotor slowing with ageing is mediated by a functional dysregulation of motor-generation processes: Evidence from high-resolution event-related potentials. *Brain*, *127*, 351–362. doi:10.1093/brain/awh042
- York, J., & Biederman, I. (1990). Effects of age and sex on reciprocal tapping performance. *Perceptual and Motor Skills*, *71*, 675–684.

VALORISATION DE LA THÈSE

Valorisation de la thèse

Publication scientifiques

Poletti C, Sleimen-Malkoun R, Decker LM, Retornaz F, Lemaire P, & Temprado JJ. Effects of training and strategic variations in cognitively impaired older adults performing a Fitts' task. *En préparation*.

Poletti, C., Sleimen-Malkoun R, Temprado, JJ, & Lemaire P. Sequential difficulty effects in cognitive and sensori-motor tasks: Insights from arithmetic and Fitts' task. *Soumis*.

Poletti C, Sleimen-Malkoun R, Decker LM, Retornaz F, Lemaire P, & Temprado JJ. Strategic variations in Fitts' task: Comparison of healthy older adults and cognitively impaired patients. *En révision*.

Poletti C, Sleimen-Malkoun R, Lemaire P, & Temprado JJ (2016). Sensori-motor strategic variations and sequential effects in young and older adults performing a Fitts' task. *Acta Psychologica, 163*, 1-9.

Poletti C, Sleimen-Malkoun R, Temprado JJ, & Lemaire P (2015). Older and younger adults' strategies in sensori-motor tasks : Insights from Fitts' pointing task. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception & Performance, 41(2)*, 542-555.

Uittenhove K, **Poletti C**, Dufau S, & Lemaire P (2013). The time course of strategy sequential difficulty effects: An ERP study in arithmetic. *Experimental Brain Research, 227(1)*, 1-8.

Communications orales

Poletti C, Sleimen-Malkoun R, Decker LM, Retornaz F, Lemaire P, & Temprado JJ. Strategic variations in Fitts' task: Comparison of healthy older adults and cognitively impaired patients. *International Workshop on Aging in Neuro-Musculo-Skeletal System*. Mars 2016, Marseille (France).

Communications affichées

Poletti C, Sleimen-Malkoun R, Lemaire P, & Temprado JJ. Strategic variations and sequential effects in young and older adults performing a Fitts' task. *Psychonomic Society's, 56th Annual Meeting*. Novembre 2015, Chicago (USA). *Journée de l'Ecole Doctorale des Sciences du Mouvement Humain*. Mai 2015, Nice (France). *International Workshop on Aging in Neuro-Musculo-Skeletal System*, Mars 2016, Marseille (France).

Poletti C, Sleimen-Malkoun R, Temprado JJ, & Lemaire P. (2014, Septembre). Aging and strategic variations in sensorimotor tasks. *Cognitive Aging Conference*. Avril 2014, Atlanta (USA). *XIII^{ème} colloque international sur le vieillissement cognitif*. Septembre 2014, Caen (France). *International Workshop on Aging in Neuro-Musculo-Skeletal System*, Mars 2016, Marseille (France).

