



Etude de la variabilité intraindividuelle du contrôle cognitif chez la personne âgée : formes et apport prédictif

Julie Lebahar

► **To cite this version:**

Julie Lebahar. Etude de la variabilité intraindividuelle du contrôle cognitif chez la personne âgée : formes et apport prédictif. Psychologie. Université Rennes 2, 2014. Français. <NNT : 2014REN20045>. <tel-01289474>

HAL Id: tel-01289474

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01289474>

Submitted on 16 Mar 2016

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.



THESE / Université Rennes 2

*sous le sceau de l'Université européenne de
Bretagne*

pour obtenir le titre de

DOCTEUR de l'Université Rennes 2

Mention : Psychologie cognitive différentielle

Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales

présentée par

Julie Lebahar

Centre de Recherches en Psychologie,
Cognition et Communication (EA-1285)

Etude de la
variabilité intra-
individuelle du
contrôle cognitif
chez la personne
âgée : formes et
apport prédictif

Thèse soutenue le 19 décembre 2014

devant le jury composé de :

Pierre-Yves Gilles

Professeur à l'Université d'Aix-Marseille / *Rapporteur*

Claude Houssemand

Professeur à l'Université du Luxembourg / *Rapporteur*

Alain Vom Hofe

Professeur à l'Université de Rouen / *Examineur*

Jacques Juhel

Professeur à l'Université Rennes 2 / *Directeur de thèse*

SOUS LE SCEAU DE L'UNIVERSITÉ EUROPÉENNE DE BRETAGNE

UNIVERSITÉ RENNES 2

Ecole Doctorale - Sciences Humaines et Sociales

Unité de Recherche- CRPCC (EA 1285)

Centre de Recherches en Psychologie, Cognition et Communication

**ETUDE DE LA VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE DU CONTROLE
COGNITIF CHEZ LA PERSONNE AGEÉ : FORMES ET APPORT PREDICTIF**

Thèse de Doctorat

Discipline : Psychologie

Présentée par Julie LEBAHAR

Directeur de thèse : Jacques JUHEL

Soutenue le 19 Décembre 2014

Jury :

M. Pierre-Yves GILLES, Professeur à l'Université d'Aix-Marseille (Rapporteur)

M. Claude HOUSSEMAND, Professeur à l'Université du Luxembourg (Rapporteur)

M. Alain VOM HOFÉ, Professeur à l'Université de Rouen (Examinateur)

M. Jacques JUHEL, Professeur à l'Université Rennes 2 (Directeur de thèse)

REMERCIEMENTS

J'adresse mes sincères remerciements à Jacques Juhel pour avoir dirigé ce travail de recherche et pour sa grande disponibilité durant ces années. La qualité de son encadrement et nos nombreux échanges m'ont permis d'évoluer vers la réalisation de cette thèse.

Je remercie Pierre-Yves Gilles, Claude Houssemand et Alain Vom Hofe pour avoir accepté de participer au jury de cette thèse et pour avoir consacré du temps à la lecture de mon travail.

Je tiens à remercier Linda Judéaux, Psychologue à Rennes, qui m'a permis de rencontrer les résidents des maisons de retraite et foyers logements: le Gast, Léon Grimault, le Colombier, à Rennes.

Merci également à Yves Urvoy et Jean-Antoine Battistelli, président et vice-président de l'Université du Temps Libre (UTL) de Rennes, pour avoir permis des entretiens avec les adhérents de l'UTL.

Un remerciement spécial va aux adhérents de l'UTL de Rennes, aux résidents de la Rablais à Saint-Jacques de la Lande, de la Résidence d'Automne à Cesson-Sévigné, du Gast, de Léon Grimault et du Colombier à Rennes pour avoir accepté de participer à mon étude et y avoir consacré tant de temps.

Je remercie particulièrement les enseignants chercheurs et doctorants du CRPCC pour les moments partagés et leurs précieux conseils. Je tiens à mentionner le plaisir que j'ai eu à travailler au sein de cette équipe. Merci à Olivier pour ses attentions et ses encouragements réguliers. Merci à Audrey pour son amitié. Merci à Yvonnick pour son aide et sa disponibilité. Merci à Barbara pour nos échanges en particulier durant les derniers moments de la thèse.

J'adresse un grand merci à l'équipe de l'Université Paris 13, notamment à Alix, Hakima et Steve, pour leur aide, leurs nombreux conseils, l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et leur gentillesse. Ils m'ont permis d'évoluer avec confiance jusqu'à la fin de la réalisation de cette thèse. Je remercie également Malika pour toutes ses attentions et ses conseils, et Jean-Luc pour avoir à plusieurs reprises répondu avec intérêt à mes questions.

Merci à mes proches, Manu, Nath, Zai, Gabrielle, Florence, Stéphane, Céline, Céline et Gaëlle, qui m'ont soutenue et comprise durant ces dernières années malgré la distance et les contacts restreints.

Enfin, je remercie Lisa, Thalie, Kamel, Alessandro, Claire et Luca pour leur présence et leurs encouragements durant ces années. Je remercie particulièrement ma mère pour son aide précieuse et tout l'intérêt qu'elle a porté à ce travail.

« L'air est plein du frisson des choses qui s'enfuient. »

Charles Baudelaire

Table des matières

| | |
|--|----|
| PARTIE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE | 9 |
| 1. LE VIEILLISSEMENT COGNITIF | 12 |
| 1.1. <i>Les changements cérébraux liés à l'âge</i> | 13 |
| 1.2. <i>L'étude expérimentale des effets du vieillissement sur la cognition</i> | 14 |
| 1.2.1. Le domaine de la mémoire..... | 14 |
| 1.2.2. Le domaine de l'attention | 18 |
| 1.3. <i>Modèles explicatifs des effets du vieillissement normal sur la performance dans les domaines de l'attention et de la mémoire.</i> | 21 |
| 1.3.1. L'hypothèse du ralentissement cognitif | 22 |
| 1.3.2. L'hypothèse d'une diminution de l'efficacité des processus exécutifs..... | 25 |
| 1.3.3. L'hypothèse de la réserve cognitive | 28 |
| 1.4. <i>Vieillesse et contrôle cognitif</i> | 28 |
| 1.4.1. Quelques grands modèles du contrôle cognitif..... | 29 |
| 1.4.2. Le modèle de Braver : un double mécanisme de contrôle cognitif | 31 |
| 1.4.2.1. Cadre théorique | 31 |
| 1.4.2.2. Le paradigme AX-cpt | 34 |
| 1.4.2.3. Résultats chez la personne âgée | 37 |
| 2. VIEILLISSEMENT COGNITIF, CHANGEMENT ET VARIABILITES | 48 |
| 2.1. <i>Différences entre individus et formes de variabilité intra-individuelle</i> | 49 |
| 2.1.1. La variabilité interindividuelle ou diversité | 50 |
| 2.2. <i>Variations inter et intra-individuelles de la performance cognitive chez la personne âgée</i> | 51 |
| 2.2.1. Diversité | 52 |
| 2.2.2. Dispersion..... | 54 |
| 2.2.3. Inconsistance..... | 56 |
| 2.2.4. Lien entre les différentes formes de variabilité intra-individuelle | 57 |
| 2.2.5. Apports théoriques de l'étude de la variabilité dans le vieillissement | 58 |
| 2.2.5.1. La VII comme caractéristique stable de l'individu | 60 |
| 2.2.5.2. Lien entre niveau de performance cognitive et variabilité de performance cognitive..... | 61 |
| 2.2.5.3. La variabilité comme indicateur d'un trouble cognitif | 63 |
| 2.2.5.4. Conséquence d'une variabilité élevée survenant plusieurs années plus tard | 66 |
| 2.3. <i>Principaux résultats sur l'étude de la variabilité dans le vieillissement</i> | 70 |
| 3. PROBLEMATIQUE DE LA THESE : L'ETUDE A DIFFERENTS NIVEAUX D'OBSERVATION DE LA VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE (VII) DE LA PERFORMANCE DES PERSONNES AGEES A UNE TACHE DE CONTROLE COGNITIF..... | 72 |

| | |
|--|-----|
| PARTIE II : PARTIE EMPIRIQUE | 74 |
| ETUDE 1..... | 75 |
| 1. INTRODUCTION..... | 76 |
| 2. HYPOTHESES..... | 78 |
| 3. METHODE | 79 |
| 3.1. <i>Participants</i> | 79 |
| 3.2. <i>Matériel et procédure</i> | 79 |
| 3.2.1. Matériel..... | 79 |
| 3.2.2. Procédure et plan d'expérience | 80 |
| 4. RESULTATS | 83 |
| 4.1. <i>Effet des manipulations expérimentales sur la performance et sur la VII</i> | 83 |
| 4.1.1. Effet du temps de présentation du signal sur la performance | 83 |
| 4.1.2. Effet du type d'essai sur la performance..... | 84 |
| 4.1.2.1. Effet du type d'essai sur la précision et la VII de la précision | 84 |
| 4.1.2.2. Effet du type d'essai sur le TR moyen et sur l'inconsistance des TR | 85 |
| 4.1.2.3. Comparaison de la performance aux essais BX et AY..... | 88 |
| 4.2. <i>Etude des relations entre les indicateurs de performance</i> | 90 |
| 4.2.1. Corrélations observées entre indicateurs pour chaque type d'essai | 90 |
| 4.2.2. Relations entre précision moyenne et VII de la précision | 95 |
| 4.2.3. Relations entre TR moyen, inconsistance des TR (écart-type et coefficient de variation des TR) | 96 |
| 4.2.4. Relations entre indicateurs de la variabilité intra-individuelle..... | 97 |
| 4.2.5. Structure des relations entre indicateurs..... | 97 |
| 4.3. <i>Mesure de l'instabilité temporelle avec le carré moyen des différences successives (MSSD)</i> .. | 99 |
| 4.3.1. Mesure de l'instabilité temporelle des TR..... | 99 |
| 4.3.2. Etude des relations entre la performance à la tâche AX-cpt et l'instabilité temporelle des TR .. | 102 |
| 4.3.3. Différenciation des individus sur la base de l'irrégularité de l'instabilité temporelle des TR à la tâche AX-cpt | 104 |
| 4.3.4. Performance à la tâche AX-cpt en fonction de la régularité/irrégularité de l'instabilité temporelle | 106 |
| 5. DISCUSSION | 110 |
| 5.1. <i>Performance moyenne et inconsistance de la performance dans la résolution de la tâche AX-cpt chez la personne âgée</i> | 110 |
| 5.2. <i>Inconsistance et statut cognitif</i> | 115 |
| 5.3. <i>Etude de l'instabilité temporelle et paradigme AX-cpt</i> | 117 |
| ETUDE 2..... | 118 |
| 1. INTRODUCTION..... | 119 |
| 2. OBJECTIFS ET HYPOTHESES | 120 |

| | | |
|---------------------------------------|---|-----|
| 2.1.1. | Dispersion des mesures et niveau d'efficacité cognitive | 120 |
| 2.1.2. | Etude longitudinale - passations répétées de la tâche AX-cpt | 120 |
| 2.1.2.1. | Objectifs | 120 |
| 2.1.2.2. | Hypothèses | 121 |
| 3. | METHODE | 123 |
| 3.1. | <i>Participants</i> | 123 |
| 3.2. | <i>Matériel et procédure</i> | 123 |
| 3.2.1. | Tests cognitifs..... | 123 |
| 3.2.2. | Paradigme AX-cpt..... | 126 |
| 4. | RESULTATS | 127 |
| 4.1. | <i>Efficacité cognitive et dispersion de la performance lors du bilan d'entrée</i> | 127 |
| 4.1.1. | Statistiques descriptives..... | 127 |
| 4.1.2. | Relations entre dispersion de la performance et performance aux tests cognitifs | 131 |
| 4.1.3. | Relations entre dispersion de la performance et performance dans chaque domaine cognitif | 134 |
| 4.2. | <i>Etude longitudinale de la performance à la tâche AX-cpt</i> | 137 |
| 4.2.1. | Evolution de la performance au cours des sessions | 137 |
| 4.2.2. | Efficacité cognitive / dispersion des scores lors du bilan et évolution des TR et de la VII des TR (cvTR) au cours des sessions..... | 141 |
| 4.2.3. | Evolution au cours des sessions de l'instabilité temporelle des TR (MSSD) et de l'irrégularité, au travers des essais, du MSSD | 145 |
| 4.2.4. | Efficacité cognitive / dispersion des scores lors du bilan et évolution de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) au cours des sessions | 146 |
| 4.2.5. | Analyse des profils individuels | 147 |
| 4.2.6. | Changement d'états intra-tâche, performance et VII de la performance à la tâche AX-cpt | 152 |
| 4.2.1. | Evolution au cours des sessions de la variation d'états | 154 |
| 4.3. | <i>Apport prédictif des mesures de variabilité intra-individuelle</i> | 155 |
| 4.3.1. | Apport prédictif du niveau de dispersion | 157 |
| 4.3.2. | Apport prédictif de la VII des TR..... | 157 |
| 4.3.3. | Apport prédictif du changement d'états intra-tâche | 163 |
| 4.3.4. | Comparaison des indicateurs de VII de la performance..... | 164 |
| 5. | DISCUSSION | 167 |
| 5.1. | <i>Relations entre dispersion et performances cognitives</i> | 167 |
| 5.2. | <i>Performance à la tâche AX-cpt et impact de l'efficacité cognitive</i> | 168 |
| 5.3. | <i>Profils de performance individuels et efficacité cognitive</i> | 171 |
| 5.4. | <i>Apport prédictif des indicateurs de VII</i> | 172 |
| PARTIE III: DISCUSSION GÉNÉRALE | | 175 |
| 1. | L'ETUDE DE LA VII AUPRES D'UN GROUPE DE PERSONNES AGEES..... | 176 |
| 1.1. | <i>Dispersion et efficacité cognitive</i> | 178 |
| 1.2. | <i>VII de la performance et contrôle cognitif</i> | 179 |

| | | |
|------|---|-----|
| 1.3. | <i>VII des temps de réponse au cours des essais et niveau d'effcience.....</i> | 181 |
| 1.4. | <i>Apport de l'étude de la VII dans la connaissance du fonctionnement cognitif.....</i> | 184 |
| 1.5. | <i>Apport prédictif des indicateurs de la VII du niveau d'effcience à des tâches de contrôle et de flexibilité cognitive.....</i> | 185 |
| 1.6. | <i>Conclusion.....</i> | 187 |
| 2. | LIMITES ET PERSPECTIVES DE L'ETUDE | 188 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 190 |
| | ANNEXES | 205 |
| 1. | ANNEXE 1: TABLES DES ILLUSTRATIONS | 205 |
| 1.1. | <i>Table des figures.....</i> | 205 |
| 1.2. | <i>Table des tableaux.....</i> | 208 |
| 2. | ANNEXE 2: SCRIPTS REALISES SOUS R | 213 |
| 2.1. | <i>Calcul du MSSD et de son intervalle de confiance</i> | 213 |
| 2.2. | <i>Représentation graphique des intervalles de confiance du MSSD.....</i> | 215 |
| 2.3. | <i>Script sous R : Analyse de profils individuels.....</i> | 216 |
| 3. | ANNEXE 3 : RESULTATS DETAILLES DES ANALYSES DE REGRESSION DE LA PERFORMANCE EVALUEE A T7 ET A T8 SUR LA VII DE LA PERFORMANCE DES SESSIONS 1 A 6..... | 223 |
| 3.1. | <i>Dispersion (ETi).....</i> | 223 |
| 3.2. | <i>Inconsistance (cvTR)</i> | 224 |
| 3.3. | <i>Instabilité temporelle et irrégularité de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD)</i> | 227 |
| 3.4. | <i>Variabilité du comportement intra-tâche (nombre d'états).....</i> | 233 |
| 3.5. | <i>Inconsistance aux essais BX.....</i> | 236 |

Partie I : Introduction générale

Les études comparatives entre personnes jeunes et âgées sur l'évolution du fonctionnement cognitif au cours du temps ont permis d'établir des différences relatives au fonctionnement des processus mnésiques, attentionnels, perceptifs et des processus impliqués dans le raisonnement. L'évolution de la recherche sur le vieillissement a permis de mieux comprendre le fonctionnement cognitif normal et son évolution au cours du temps (Lemaire & Bherer, 2005 ; Luo & Craik, 2008 ; Ska & Joannette, 2006). Les différences d'efficacité dans les domaines de la mémoire, de l'attention (inhibition, résistance à l'interférence) de la vitesse de traitement de l'information, et du contrôle exécutif ont été établies entre les personnes jeunes et âgées grâce au développement de recherches menées en psychologie cognitive et en neurosciences (Balota, Dolan, & Duchek, 2000 ; Brinley, 1965; Salthouse, 1996 ; West, 1996).

Les recherches indiquent que le vieillissement s'accompagne de modifications de l'efficacité des systèmes mnésiques (Gély-Nargeot, Mure, Guérin-Langlois, Martin, & Descours, 2000 pour une revue ; Gély-Nargeot & Raffart, 2011 ; Dartigues, Fabrigoule, Letenneur, Amieva, Thiessard & Orgogozzo, 1996 ; Kalpouzos, Eustache, & Desgranges, 2010), du fonctionnement exécutif (Amieva, Phillips & Della Sala, 2003 ; pour synthèse Bherer, Belleville & Hudon, 2004 ; Collette & Salmon, 2014) et d'un ralentissement (Hale, Lima & Myerson, 1991 ; Salthouse, 1993, 1994, 1996, 2000 ; Myerson, Hale, Hirschman, Hansen & Christiansen, 1989 ; Godefroy, 2010 ; Boulanger, Snyder & Cohen, 2006) et ont ainsi permis aux psychologues d'obtenir une meilleure compréhension des changements cognitifs chez la personne âgée en bonne santé mais aussi malade. En effet, le nombre d'individus présentant des troubles cognitifs et atteints par les maladies neurodégénératives liées à l'âge, comme la maladie d'Alzheimer, la démence à corps de Lewy ou encore la démence fronto-temporale, augmente en proportion avec l'augmentation de la population âgée dans notre société. Il est donc important de connaître les atteintes cognitives spécifiques à ces maladies pour d'une part, les différencier d'un changement lié à un fonctionnement normal et d'autre part établir un diagnostic différentiel le plus tôt possible dans le développement de l'atteinte neurologique, afin de proposer une prise en charge adaptée à la maladie pour chaque patient (étalonnage de tests neuropsychologiques, mise en place de programmes de stimulation cognitive, etc.) puis proposer un environnement adapté qui réponde aux

besoins relatifs aux changements liés à l'âge. L'enjeu de l'étude des changements cognitifs liés à l'âge est donc important pour la population âgée et les futures générations de population âgée.

Aujourd'hui, il existe des conclusions de recherches scientifiques selon lesquelles la variabilité intra-individuelle (VII) de la performance (variabilité au cours du temps et entre différents domaines cognitifs) pourrait être un indicateur complémentaire de la performance moyenne (de Ribaupierre, Chicherio, Fagot, Dirk, Lecerf & Ghisletta, 2013) et selon lesquelles la VII augmente en vieillissant à l'âge adulte (Hultsch, MacDonald & Dixon, 2002). Quelques études récentes indiquent que l'augmentation de la VII semble être associée à un niveau préclinique de démence (Christensen, Dear, Anstey, Parslow, Sachdev & Jorm, 2005) et pourrait annoncer une diminution du niveau de performance moyen (Lövdén, Li, Shing & Lindenberger, 2007 ; Bielak, Hultsch, Strauss, MacDonald & Hunter, 2010 ; Gamaldo, Allaire, Kitner-Triolo & Zonderman, 2012). Ces derniers éléments nous ont poussés à poursuivre notre investigation dans le champ du vieillissement cognitif. Nous pensons que par l'étude des différences individuelles et des fluctuations de la performance cognitive au sein d'une population âgée, nous pouvons établir une meilleure connaissance du fonctionnement cognitif dans cette population et souligner les traits de comportement pouvant prédire, au moins en partie, des troubles cognitifs liés à une pathologie de nature neurodégénérative. Nous nous intéresserons plus spécifiquement au fonctionnement du contrôle exécutif qui se trouve au cœur du traitement de l'information, du raisonnement et qui est étroitement lié au fonctionnement de la mémoire (mémoire de travail (MDT), attention, résistance à l'interférence).

Nous commencerons donc par établir une présentation des principaux points théoriques qui nous ont conduits à poursuivre cette étude, puis nous définirons les différents types de variabilité étudiés dans notre recherche à savoir la variabilité interindividuelle et intra-individuelle (intra-tâche et inter-tâche). Enfin, nous présenterons notre procédure expérimentale, une étude longitudinale reposant sur des mesures répétées d'une tâche évaluant le fonctionnement exécutif chez la personne âgée sans trouble cognitif avéré. L'utilisation de mesures répétées est une des caractéristiques essentielles pour l'étude de la variabilité de la performance au cours du temps.

1. Le vieillissement cognitif

Actuellement, la compréhension des changements rencontrés lors du vieillissement normal et le diagnostic des troubles cognitifs liés au vieillissement pathologique font partie des priorités en matière de santé publique dans notre société. Il est bien connu que le processus de vieillissement cognitif dit normal, sans troubles cognitifs apparentés à une maladie neurologique de type dégénérative, s'accompagne d'une diminution de l'efficacité dans quelques domaines de la cognition. Certains processus cognitifs sont préservés tandis que d'autres sont affectés par le vieillissement. Par exemple, l'intelligence fluide (raisonnement portant sur des informations nouvelles indépendantes de la culture, et supposée dépendre principalement de facteurs biologiques) décline avec l'avancée en âge tandis que l'intelligence cristallisée (dépendante des connaissances générales, de l'expérience) reste stable (Li, Lindenberger, Hommel, Aschersleben, Prinz & Baltes, 2004). L'efficacité de la mémoire épisodique explicite est sensible aux effets de l'âge alors que la mémoire implicite et la mémoire procédurale sont assez bien préservées (pour revue, Luo & Craik, 2008 ; Gély-Nargeot *et al.*, 2000).

Les domaines de la cognition les plus étudiés par les recherches sur le vieillissement sont la mémoire, l'attention (approche expérimentale) et l'intelligence (approche psychométrique ou corrélationnelle). L'évolution des techniques d'imagerie cérébrale et le développement de la neuropsychologie ont permis de compléter les observations comportementales recueillies par les études en psychologie cognitive et ainsi de formuler des hypothèses explicatives du processus de vieillissement cognitif. Nous commencerons donc par présenter dans ce chapitre quelques conclusions relatives aux études du vieillissement cognitif qui nous ont poussés à mener ce travail de recherche axé sur la variabilité individuelle des processus de contrôle cognitif. L'objectif est ici de compléter les travaux sur le vieillissement cognitif en proposant une explication relative aux comportements observés chez la personne âgée dans une activité de traitement de l'information, basée sur des processus de contrôle, selon un modèle duel du contrôle cognitif.

1.1. Les changements cérébraux liés à l'âge

Les effets de l'âge sur le fonctionnement cognitif sont liés de manière très étroite au vieillissement cérébral. L'étude du vieillissement dans le champ des neurosciences cognitives a apporté des connaissances essentielles sur les modifications observées sur le fonctionnement cognitif. Le volume du cerveau diminue avec l'avancée en âge et diminue de manière plus marquée à partir d'environ 50 ans, le rétrécissement augmente avec l'âge dans quelques régions, particulièrement l'hippocampe et la matière blanche préfrontale (Raz, Lindenberger, Rodrigue, Kennedy, Head, Williamson, Dahle, Gerstorff, & Acker, 2005). La diminution semble donc concerner de manière plus importante la région préfrontale et l'hippocampe. La mort des cellules nerveuses et la dégénérescence des axones (fibres entre neurones) ont été observées. La mort de neurones est plus importante dans le lobe frontal (moins 1% tous les deux ans), dans le lobe temporal (moins 0,28%) et dans l'hippocampe et l'amygdale (moins 3 à 9% par décennie). La synthèse des neuromédiateurs est également affectée par l'âge (molécules qui assurent la communication entre les neurones) de manière importante dans les régions hippocampiques. Le lobe frontal connaît des changements physiologiques qui sont liés aux changements cognitifs (par exemple, la dopamine dans le cortex frontal permet de diriger l'attention sur les aspects pertinents de la tâche, cette diminution est associée à l'augmentation du temps de réaction). La perte neuronale est associée à une diminution de l'arborisation dendritique et à la détérioration des systèmes neurochimiques qui affectent la communication entre les neurones et la circulation de l'information dans le système nerveux. L'évolution de nos capacités intellectuelles dépend en partie de ces changements physiologiques. Les régions cérébrales les plus marquées par les effets de l'âge, le cortex frontal et les régions hippocampiques, jouent un rôle important dans le contrôle de l'attention et la mémoire épisodique, de plus, la plus grande diminution de la matière grise se situe dans le cortex frontal et pariétal (pour revue, Ludwig & Chicherio, 2007 ; Lemaire & Bherer, 2005).

Il s'avère que les zones atteintes lors du vieillissement normal et pathologique diffèrent pour ces deux populations. Lors du vieillissement normal, l'atrophie corticale et l'hypo-métabolisme sont les plus importants au niveau des cortex préfrontaux et pariétaux (circuit attentionnel ou exécutif), tandis que les personnes

atteintes de la maladie d'Alzheimer présentent plutôt une atteinte des régions limbiques : région hippocampique et le gyrus cingulaire (dysfonctionnement authentique de la mémoire) (Kalpouzos *et al.*, 2010). Toutefois, des zones communes peuvent être altérées dans ces deux populations. L'atteinte de la mémoire épisodique chez les sujets sains serait liée aux modifications du cortex fronto-pariétal (Kalpouzos *et al.*, 2010).

1.2.L'étude expérimentale des effets du vieillissement sur la cognition

La méthode expérimentale couramment adoptée en psychologie cognitive a permis de recueillir des données dans des populations jeunes et âgées et de répondre aux questions du déclin des grandes fonctions cognitives au cours du vieillissement (par ex., Gély-Nargeot & Raffard, 2011). Cette méthode se base plus fréquemment sur des études transversales (comparaison d'un groupe de personnes adultes jeunes et d'un groupe de personnes adultes âgées). Dans la partie qui suit nous nous attacherons à la présentation de l'atteinte de la mémoire et de l'attention chez la personne âgée.

1.2.1. Le domaine de la mémoire

L'étude des processus mnésiques occupe une place importante dans la recherche en psychologie et neuropsychologie. Les troubles mnésiques liés à l'âge présentent un des aspects principaux du processus de vieillissement cognitif (Gély-Nargeot *et al.*, 2000; pour une revue ; Gély-Nargeot & Raffard, 2011). L'atteinte de la mémoire, au cours du vieillissement et des maladies liées à l'âge comme la maladie neurologique de type Alzheimer, est une préoccupation majeure de santé publique. L'augmentation des consultations dites « consultation mémoire » reflète l'importance de ce phénomène lié au déclin de la mémoire avec l'avancée en âge. La plainte mnésique est souvent le premier « symptôme » décrit par les personnes en demande d'un bilan cognitif. Dans une étude épidémiologique sur le déclin de la mémoire réalisée auprès de 1503 personnes âgées de plus de 65 ans, 60.8 % des sujets présentaient une plainte mnésique (Dartigues *et al.*, 1996). Le développement des études de psychologie cognitive sur le vieillissement normal et pathologique a permis d'identifier les processus mnésiques atteints par l'âge et ceux relativement

bien préservés, et de mettre en évidence d'importantes différences entre vieillissement normal et vieillissement pathologique dans le domaine de la mémoire. Nous nous attacherons ici à une description des changements observés au cours du vieillissement normal. La compréhension des études scientifiques du fonctionnement de la mémoire dans cette population nécessite une connaissance des grands systèmes mnésiques (voir Guillery-Girard, Quinette, Piolino, Desgranges & Eustache, 2008). La mémoire à long terme et la mémoire à court terme sont deux systèmes de mémoire classiquement différenciés (Atkinson & Shiffrin, 1968). La mémoire à long terme est illimitée en termes de capacité et de durée de rétention des informations et concerne les faits, les souvenirs, les savoir-faire. La mémoire à court terme est à capacité limitée et à durée limitée et permet le maintien d'une information de manière temporaire en mémoire. La MDT, concept plus récent vient compléter, voire remplacer, le concept de mémoire à court terme, et renvoie à un système plus complexe dans lequel résident plusieurs sous-systèmes permettant de manipuler et de maintenir l'information durant une durée limitée (Baddeley, 1986 ; Baddeley, 2000). Le modèle de MDT proposé par Baddeley se présente comme un modèle comprenant un administrateur central, ou centre exécutif, associé à un système attentionnel de capacité limitée qui contrôle l'action de deux sous-systèmes asservis, pour le traitement de l'information en cours, à savoir la boucle phonologique (maintien de l'information verbale sous une forme phonologique) et le calepin visuo-spatial (maintien et manipulation d'images mentales). Baddeley (2000) a revu son modèle pour ajouter le tampon épisodique (*episodic buffer*) permettant aux informations contenues en MDT d'accéder en MLT épisodique, tout en pouvant rester accessibles à la MDT qui peut les manipuler même après un temps très long (figure 1). Le tampon épisodique permet de stocker des informations dans un code multidimensionnel. Il fournit ainsi une interface provisoire entre les deux systèmes asservis (la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial) et la MLT. Il est contrôlé par le centre exécutif, qui est responsable d'assembler les informations provenant de sources différentes dans des épisodes cohérents. De tels épisodes sont supposés être récupérables consciemment. Le tampon épisodique est utilisé comme un espace de modélisation séparé de la MLT mais qui forme une étape importante dans l'apprentissage à long terme épisodique.

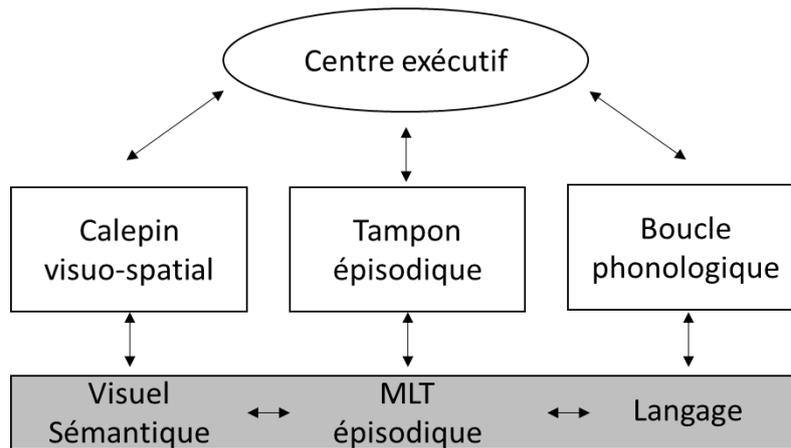


Figure 1: Modèle revu de la MDT de Baddeley (2000), (extrait et traduit de Baddeley, 2000, p. 421). Fond blanc : systèmes fluides et fond grisé : systèmes cristallisés.

La mémoire à long terme comprend un registre de mémoire explicite et un registre implicite. Dans le registre explicite se trouvent la mémoire épisodique qui concerne les évènements particuliers survenus au cours de la vie dans un contexte spatio-temporel précis, un système neurocognitif qui permet aux êtres humains de se rappeler des expériences passées (Tulving, 2002) et la mémoire sémantique qui concerne les connaissances plus générales. Le registre implicite concerne la récupération d'information sans conscience. La mémoire explicite et la mémoire implicite se distinguent en particulier par leur mode de récupération des évènements. La mémoire explicite se réfère au souvenir intentionnel ou conscient d'expériences antérieures, évaluée en laboratoire par les tests traditionnels de rappel ou de reconnaissance. La mémoire implicite, par contraste, se réfère aux changements de performance aux tests ou aux changements de comportement produits par des expériences antérieures qui n'exigent pas de souvenir intentionnel ou conscient de ces expériences (Schacter, 1992, Challis, 1996). Elle est évaluée classiquement par des tâches d'amorçage perceptif et/ou conceptuel. Cette distinction joue un rôle important dans l'évaluation de la mémoire. La mémoire explicite se réfère donc à la récupération consciente et volontaire des informations en mémoire tandis que la mémoire implicite se réfère à une récupération plus automatique des informations. Deux formes de mémoires liées aux contenus mémorisés sont également à distinguer : la mémoire déclarative qui concerne des connaissances verbalisables (savoir quoi) et la mémoire procédurale qui concerne des connaissances des savoir-faire (savoir comment) (Cohen & Squire, 1980). La mémoire épisodique et la MDT sont des systèmes mnésiques particulièrement affectés lors du vieillissement (par

exemple, Giffard, Desgranges & Eustache, 2001 ; Old & Naveh-Benjamin, 2008 ; Kalpouzos *et al.*, 2010). En effet, les aspects épisodiques de la mémoire sont affectés par l'âge tandis que les aspects sémantiques seraient préservés ainsi que les souvenirs épisodiques anciens de la période « jeune adulte » appelé pic de réminiscence (Piolino, 2003). Les formes plus automatiques de la mémoire (mémoire procédurale et implicite) semblent être les plus préservées lors du vieillissement normal alors que les formes explicites et déclaratives paraissent être les plus affectées (capacité observée dans des tâches d'apprentissage de listes de mots par exemple). La mémoire épisodique est classiquement évaluée par des tâches de rappel et de reconnaissance qui requièrent des processus d'encodage et de récupération conscients. Toutefois les performances aux tests d'évaluation de la mémoire explicite indiquent que le rappel est davantage affecté par l'âge que la reconnaissance, ce qui s'explique par le fait que le rappel requiert des processus plus exigeants que la reconnaissance (Craik & McDowd, 1987). Cette diminution supérieure de la performance à des tâches de rappel serait liée à la mise en œuvre de mécanismes auto-initiés qui rend la tâche plus difficile, la reconnaissance sollicite donc moins de ressources attentionnelles (Gély-Nargeot *et al.*, 2000). Le vieillissement affecterait donc des processus de récupération contrôlés par opposition aux processus de récupération plus automatiques. La mémoire prospective complète cette description succincte des différents systèmes mnésiques. Cette forme de mémoire s'apparente à la mémoire des intentions futures en impliquant la remémoration d'une action à effectuer ultérieurement. Elle est affectée par l'âge et concerne une part importante de la plainte des personnes âgées mais les recherches présentent des résultats contradictoires liés à la complexité de son évaluation (tâches de mémoire prospective basées sur l'évènement ou basées sur le temps, tâches en laboratoire et tâches plus écologiques). Les résultats dans ce domaine de recherche laissent penser que l'efficacité de la mémoire prospective est étroitement liée à celle des processus dits exécutifs (Scullin, Bugg, & McDaniel, 2012 ; Gonneaud, 2011). Enfin, la diminution de l'efficacité des processus exécutifs (contrôle cognitif, inhibition) pourrait jouer un rôle sur l'efficacité de l'encodage et la récupération et expliquer en partie le déclin de la mémoire épisodique. Cette hypothèse constitue l'hypothèse frontale (pour revue Charlot & Feyereisen, 2005). Ainsi, quelques processus de mémoire épisodique comme, par exemple, la récupération et l'évaluation de l'information, seraient

obtenus par la médiation de mécanismes de MDT (Van der Linden, Meulemans, Marczewski & Collette, 2000).

1.2.2. Le domaine de l'attention

L'attention est l'une des grandes fonctions cognitives qui intervient dans la sélection, le contrôle et l'orientation du traitement de l'information. L'attention permet d'interagir avec son environnement de manière efficace surtout lorsque la situation est nouvelle ou inhabituelle. L'attention est impliquée dans les tâches complexes et les processus de prise de décision. Plusieurs définitions de l'attention se sont succédé. James (1890) la définit de la façon suivante : « L'attention, c'est la prise en compte par l'esprit, sous une forme claire et précise, d'un seul objet ou d'une seule suite d'idées parmi plusieurs possibles; la focalisation et la concentration de la conscience en sont des manifestations. Cette faculté nécessite que l'on renonce à certaines choses pour s'occuper efficacement des autres ». On peut citer une description plus récente par un spécialiste de l'attention : Siéoff (2008) « Les mécanismes de l'attention permettent de sélectionner une information et de maintenir son traitement à un niveau élaboré. La représentation qui en résulte est une base d'accès à la conscience et la décision d'action » (p. 264). L'attention a d'abord été définie comme un canal à capacité limitée permettant le traitement de l'information (Broadbent, 1958), suggérant ainsi l'existence d'une capacité de traitement limitée à laquelle est associée la notion de sélectivité. L'attention peut être endogène, dirigée volontairement vers une information, ou exogène, captée et orientée par une information de l'environnement (Siéoff, 1994 ; Siéoff, 2008). L'attention est généralement définie par plusieurs composantes (ou sous-systèmes) (Camus, 1996). Par exemple, Posner & Petersen (1990) distinguent les trois sous-systèmes attentionnels, d'orientation vers des stimuli sensoriels, de détection de signal pour un traitement focalisé, et de maintien de la vigilance ou de l'état d'alerte. La vigilance (ou attention soutenue), de nature non-sélective, correspond au maintien de l'attention à un certain niveau. Elle peut être considérée comme un sous-système de l'attention qui permet de maintenir une activité de traitement durant une durée prolongée. L'attention sélective permet de sélectionner les informations pertinentes à la tâche en cours sans se laisser distraire par les informations environnantes non pertinentes (voir Siéoff, 1992). La commande attentionnelle est associée à la notion

de contrôle et permet de localiser l'attention selon les besoins et les buts à atteindre. On parle d'attention partagée (ou divisée) lorsque l'attention est divisée entre plusieurs tâches (non automatisées) de manière simultanée et s'évalue dans des situations de double tâche (Pashler, 1994). L'attention partagée permet donc le traitement simultané de plusieurs informations par l'allocation de ressources cognitives à plusieurs sources d'information et requiert plus d'attention que l'exécution d'une tâche simple. Enfin l'attention préparatoire ou anticipatrice permet de se préparer plus ou moins volontairement à traiter une information (Siéroff, 2001). De cette manière, l'attention préparatoire peut faciliter le traitement d'une information par l'interprétation de la force prédictive d'un indice pour la prise de décision et orienter précocement le comportement par l'anticipation de l'utilisation d'une stratégie. Ce type de préparation serait associé à un traitement *top-down*, *descendant* c'est-à-dire orienté par des processus contrôlés de haut-niveau.

Le terme de filtre attentionnel est communément utilisé dans la modélisation de l'attention pour représenter l'étape de sélection des informations qui seront traitées par le système attentionnel (Broadbent, 1958). Plusieurs modèles de l'attention se sont succédé pour expliquer la mise en œuvre de l'attention lors du traitement de l'information et définir sa place durant l'activité de traitement de l'information (Broadbent, 1958 ; Treisman, 1964 ; Deutsch & Deutsch, 1963). Selon les modèles de l'attention, le filtre attentionnel peut se situer avant les processus perceptifs (Broadbent, 1958 ; Treisman, 1964) ou après les processus perceptifs (Deutsch & Deutsch, 1963). Selon Broadbent (1958) les informations sensorielles sont traitées puis sélectionnées pour être perçues (niveau précoce dans le traitement) ; le filtre attentionnel intervient donc avant l'identification et avant le traitement sémantique des informations. Selon Treisman (1964), le filtre ne fonctionnerait pas en tout ou rien et aurait un rôle d'atténuateur. Selon Deutsch & Deutsch (1963), l'intervention de l'attention aurait lieu après le traitement sémantique de l'information (niveau tardif dans le traitement). Toutefois, des modèles plus actuels placent le niveau de l'intervention de l'attention (tardif ou précoce) selon la charge mentale de la tâche : quand la charge perceptive est élevée, la sélection serait précoce et lorsque la charge est faible, elle serait tardive. D'autres théories supposent que l'attention intervient précocement quand l'information est nouvelle, alors que lorsque l'information est familière, la demande de ressource

attentionnelle est faible, et l'attention peut se situer à des niveaux plus élevés de traitement (Siéoff, 2008). Un modèle plus central reposant sur la capacité attentionnelle limitée propose un mécanisme central de gestion de l'attention qui détermine la quantité de ressources allouée à une tâche plutôt qu'à une autre (Kahneman, 1973). Selon ce modèle, l'efficacité du traitement dépend donc de la quantité de ressources attentionnelles disponibles. Par exemple en situation d'attention partagée, la quantité de ressources attentionnelles sera divisée entre plusieurs tâches, le traitement sera moins efficace que si celle-ci est allouée à une seule tâche. Selon le modèle de Kahneman, « l'effort mental » est distribué en fonction de la demande perçue de la tâche.

Enfin, le lien entre l'attention et le contrôle de l'activité est très étroit. Le contrôle attentionnel intervient lorsqu'il s'agit de traiter des informations compétitives ou d'inhiber des informations non pertinentes à la tâche en cours que l'on définit comme des interférences ou encore lorsqu'il s'agit d'alterner entre deux types de traitement ou tâches à exécuter (attention exécutive).

Les recherches sur les processus attentionnels se poursuivent pour rendre compte des changements de l'efficacité des systèmes attentionnels suite au processus de vieillissement (Adam, Van der Linden & Colette, 2002 ; pour une synthèse voir Siéoff & Piquard, 2004). Le vieillissement s'accompagne d'un déficit de l'attention sélective (Hartley, 1992) qui se traduit par une difficulté à ignorer les informations non-pertinentes (Rabbitt, 1965). D'autres auteurs suggèrent qu'en plus du déficit d'inhibition des informations non-pertinentes, les capacités perceptives peuvent être réduites chez la personne âgée (théorie de la charge perceptive de l'attention sélective), (voir Maylor & Watson, 2005). Les études sur le vieillissement ont montré un déficit de ces processus attentionnels (attention sélective) dans des tâches de recherche visuelle (Plude & Doussard-Roosevelt, 1989; Amenedo, Lorenzo-Lopez & Pazo-Álvarez, 2012). L'explication généralement envisagée repose sur la difficulté de désengagement de l'attention sélective, pour les personnes âgées (Greenwood & Parasuramen, 1994). Le désengagement de l'attention correspond à l'abandon de l'orientation dans laquelle l'attention est engagée. L'efficacité de l'attention partagée ne serait pas affectée par l'âge (Belleville & Bherer, 2000), mais certains auteurs suggèrent un effet de l'âge sur l'attention partagée lorsque la complexité de la tâche augmente (McDowd & Craik, 1988). Lorsque l'attention est divisée entre deux

tâches, l'effet de l'âge n'est pas systématique et peut dépendre de la performance aux tâches réalisées de manière isolée, de plus les épreuves les plus sensibles aux effets de l'âge seraient celles qui présentent une composante de vitesse (de Ribaupierre & Ludwig, 2000). Concernant l'attention soutenue, les résultats sont contradictoires et dépendent de la mesure de la performance utilisée (pour revue, Staub, Doignon-Camus, Després & Bonnefond, 2013). La difficulté liée à l'âge serait plus importante lorsque la charge visuelle est élevée (Mouloua & Parasuraman 1995). Cependant lorsqu'il s'agit d'alterner l'attention entre deux activités cognitives différentes (notion de flexibilité), les sujets âgés montrent une diminution de la performance (pour revue, Collette & Salmon, 2014).

D'après ces conclusions, les processus attentionnels dits « automatiques » pour la réalisation de tâches simples seraient relativement conservés avec l'avancée en âge alors que les processus attentionnels dits « contrôlés », impliqués lorsqu'il s'agit de résister à l'interférence ou de faire face à des situations d'indigence non congruent seraient altérés. La commande attentionnelle est étroitement liée aux processus de contrôle exécutif ; sa capacité s'évalue à partir de tâches d'inhibition, de traitement d'informations compétitives ou d'alternance de tâches. Les changements dans la mise en œuvre des processus de contrôle cognitif chez la personne âgée sont de plus en plus considérés comme une explication du déclin des performances dans l'exécution de nombreuses tâches cognitives.

1.3. Modèles explicatifs des effets du vieillissement normal sur la performance dans les domaines de l'attention et de la mémoire.

Les mécanismes du traitement de l'information sont largement connectés entre eux. La connaissance des substrats neuronaux qui sous-tendent l'efficacité des processus cognitifs est une réelle avancée dans la compréhension des difficultés rencontrées par les personnes âgées. La variabilité interindividuelle dans la manifestation des effets de l'âge chez les individus âgés occupe également une place importante dans l'explication du vieillissement cognitif. Les modifications de l'efficacité des processus exécutifs et la diminution de la vitesse de traitement observées avec l'avancée en âge à l'âge adulte pourraient expliquer en partie les changements cognitifs observés chez la personne âgée, de par leur implication dans les systèmes mnésiques et leur lien étroit avec la MDT (rôle de l'administrateur

central). Les processus exécutifs permettent de répondre aux situations exigeantes dans le maintien du but à atteindre, dans les actions de planification, d'inhibition, de flexibilité et de manière plus générale dans le contrôle de l'attention. Ils sont impliqués dans les tâches complexes comme le raisonnement, la résolution de problèmes et la prise de décision. Actuellement, les recherches sur le déclin lié à l'âge semblent impliquer le ralentissement cognitif et la diminution de l'efficacité des processus exécutifs dans la baisse de l'efficacité des activités de traitement de l'information. Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer la variabilité des profils de vieillissement et les conclusions parfois contradictoires sur le déclin de certaines fonctions.

1.3.1. L'hypothèse du ralentissement cognitif

Le ralentissement du fonctionnement cognitif est un fait reconnu chez la personne âgée. De nombreuses études ont déjà mis en évidence une augmentation avec l'avancée en âge des temps de réponse (TR) lors de l'exécution de tâches cognitives (Hale *et al.*, 1991 ; Salthouse, 1994, 1996, 2000 ; Myerson *et al.*, 1989 ; Godefroy, 2010 ; Boulanger *et al.*, 2006). Une première hypothèse défendue notamment par Salthouse (1996) serait que le ralentissement de la vitesse de traitement serait la cause de la diminution de l'efficacité dans de nombreux domaines de la cognition. Salthouse propose une théorie de la diminution liée à l'âge de la vitesse de traitement avec laquelle de nombreuses opérations de traitement peuvent être exécutées. Cette réduction de la vitesse qui conduit à des déficiences dans le fonctionnement cognitif avec l'avancée dans l'âge adulte s'appuierait sur deux mécanismes essentiels : le mécanisme du temps limité (le traitement des informations pertinentes est trop long et ne permet pas le traitement des informations qui se succèdent dans des durées optimales) et le mécanisme de la simultanéité (selon lequel les informations traitées précocement et nécessaires à l'exécution des processus suivants sont déjà oubliées ou de moins bonne qualité). Toutefois, nous pouvons noter que certains auteurs se sont opposés à la théorie d'un ralentissement général comme seule cause des effets sur la cognition rencontrés chez les personnes âgées (Fisk, Fisher & Rogers, 1992). Ces auteurs suggèrent que le vieillissement cognitif ne peut pas être seulement compris grâce à l'addition d'un facteur de ralentissement et suggèrent plutôt un facteur qui serait proportionnel et qui varierait

en fonction du type de tâche. Ils opposent le modèle de ralentissement indépendant (de la tâche) au modèle de ralentissement interactif (dépendant du ralentissement et du type de tâche). D'après ces auteurs, l'étude du vieillissement cognitif doit être appréhendée par une approche spécifique à la tâche pour rendre compte de toute sa complexité. Les études scientifiques basées sur les performances à des tâches d'évaluation de capacité cognitive présentent souvent des résultats basés sur des mesures de TR des participants pour mettre à jour la différence dans l'efficacité dans la mise en œuvre des processus de traitement en fonction de l'âge ; la question se pose alors de la part de l'effet liée au ralentissement cognitif et de celle directement liée aux processus étudiés sur les performances.

Les graphes de Brinley sont souvent utilisés pour représenter l'importance du ralentissement cognitif lié à l'âge et permettent la représentation d'un coefficient de ralentissement. La méthode de représentation des données développée par Brinley (1965) repose sur la relation linéaire entre les performances des adultes âgés et celles des jeunes adultes (figure 2). La réalisation de ce graphe est effectuée à partir des performances des personnes jeunes et âgées à des tâches cognitives. Chaque point est positionné à partir des coordonnées définies de la manière suivante : en abscisse, la performance d'un adulte jeune et en ordonnée la performance d'un adulte âgé. Les performances sont préalablement triées par niveau de performance, du plus rapide au plus lent pour les adultes âgés d'une part, du plus rapide au plus lent pour les jeunes adultes d'autre part. Ce graphe montre que les âgés sont 1.23 fois plus lents que les jeunes pour des tâches arithmétiques séquentielles et 1.96 fois plus lents que les jeunes pour des tâches arithmétiques hiérarchiques.

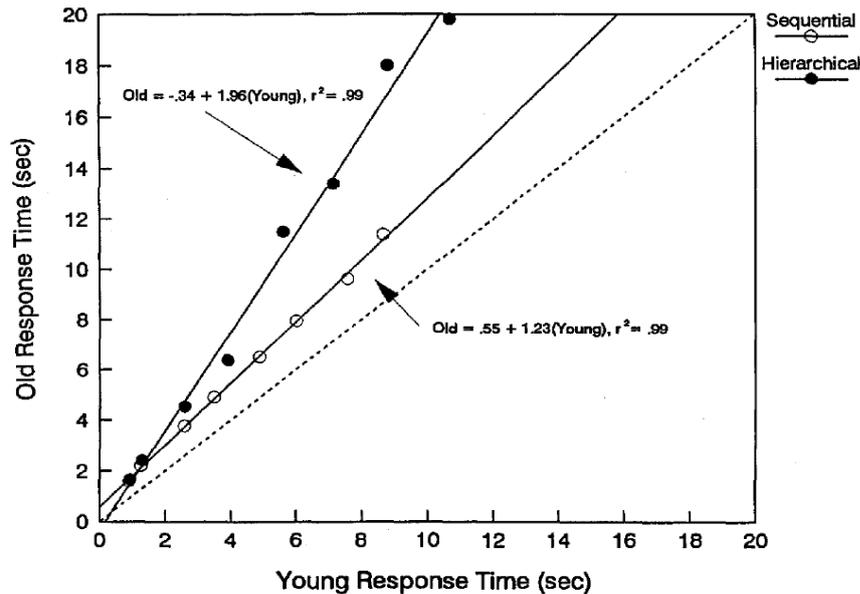


Figure 2: Théorie de la vitesse de traitement: Graphe de Brinley. TR moyen des personnes âgées en fonction du TR moyen des jeunes adultes pour des tâches arithmétiques (Extrait de Salthouse 1996, données de Salthouse & Coon, 1994, p. 409).

Le ralentissement cognitif lié à l'âge serait responsable d'une diminution d'efficacité dans de multiples domaines cognitifs (Salthouse, 1996 ; Myerson *et al.*, 1989). D'après certaines des études menées sur le thème du ralentissement cognitif lié au vieillissement, un ralentissement global de l'efficacité cognitive serait observé dès 40 ans, et de manière plus importante dans le domaine non-lexical (Hale *et al.*, 1991). Les questions posées au sujet du ralentissement cognitif, concernent son implication dans plusieurs domaines de la cognition et particulièrement les situations qui impliquent un enchaînement et une mise en relation de processus cognitifs élémentaires pour résoudre la tâche initiée comme par exemple la planification, l'inhibition, la flexibilité qui renverraient au rôle de l'exécuteur central dans la MDT (Salthouse, 1994; Baddeley & Hitch 1994 ; Baddeley 1996). La question de la variabilité interindividuelle des capacités cognitives avec l'avancée dans l'âge et son lien avec la diminution de la vitesse de traitement se pose également. D'après Hale et collaborateurs (Hale *et al.*, 1988), la plus grande variabilité interindividuelle, qui est évaluée dans leur étude par la mesure de l'écart-type (ET) des TR du groupe et observée dans les groupes d'adultes âgés, serait une conséquence du ralentissement plutôt qu'un effet lié directement à l'âge. Dans cette étude, la corrélation obtenue entre l'âge et l'ET était éliminée lorsque le TR était contrôlé. Les auteurs ont noté qu'une augmentation de la variabilité interindividuelle était constatée lorsque que

l'on observait aussi une augmentation des TR. Les TR augmentaient avec l'âge des participants et les résultats des analyses montraient une fonction linéaire simple entre les TR moyens et les ET moyens. Plus les TR étaient importants, plus la mesure de la variabilité interindividuelle mesurée par l'écart-type (ET) des TR était importante pour des mesures verbales et manuelles. L'étude de la variabilité sera développée dans les prochaines parties de ce document.

1.3.2. *L'hypothèse d'une diminution de l'efficacité des processus exécutifs*

Selon une seconde hypothèse, les changements au niveau du cortex préfrontal (réduction de son volume et des récepteurs dopaminergiques, diminution du débit sanguin) seraient à l'origine de la diminution de la vitesse de traitement et de l'efficacité des processus exécutifs et entraîneraient les modifications cognitives observées chez la personne âgée. L'efficacité des processus d'inhibition, évaluée dans des tâches de Stroop (Stroop, 1935 ; évaluation des capacités de résistance à l'interférence, situation de compétition), *Wisconsin Card Sorting Test* (Grant & Berg, 1948 ; évaluation des capacités d'identification de concept, de planification, d'inhibition de règles), *Hayling test* (Burgess & Shallice 1996 ; inhibition d'une réponse dominante : résister au complètement d'une phrase par un mot conforme dicté par le contexte), amorçage négatif (Tipper, 1985 ; inhibition de la cible à l'essai précédent), et des épreuves impliquant des processus d'alternance entre tâches (*task switching* ; Jersild, 1927) semble être particulièrement sensible aux effets de l'âge (pour synthèse Bherer *et al.*, 2004 ; Gély-Nargeot & Raffard, 2011 ; Collette & Salmon, 2014). En plus d'un effet global de l'âge sur ces processus et sur la vitesse de traitement, quelques auteurs (Jeantin & Pennequin, 2006) ont mis en évidence l'implication supérieure de ces processus dans l'efficacité du raisonnement inductif chez la personne âgée comparée à de jeunes adultes. Le déclin des capacités de raisonnement des personnes âgées comparées aux personnes jeunes a été montré pour des tâches d'identification de concepts et des tâches de complètement de séries de chiffres (Arenberg, 1882 ; Salthouse & Prill, 1987). De plus, la diminution de l'efficacité cognitive chez les personnes âgées dans une tâche d'alternance (le *trail making test* qui consiste à alterner deux types de traitement ; Reitan, 1955) apparaît être liée à la diminution de la vitesse de traitement (Salthouse & Fristoe, 1995).

Dans une autre étude de Salthouse et collaborateurs visant à expliquer les différences liées à l'âge dans la réalisation du *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), la vitesse de traitement dans la réalisation de la tâche était inférieure chez les participants les plus âgés (participants âgés de 18 à 38 ans pour les jeunes adultes et âgés de 60 à 86 ans pour les adultes âgés) (Fristoe, Salthouse & Woodard, 1997). De plus, ces résultats appuient l'idée selon laquelle les différences de performances liées à l'âge dans la résolution du WCST sont partiellement médiatisées par des différences d'âge dans l'utilisation des feedbacks et que les différences liées à l'âge dans l'utilisation des feedbacks sont médiatisées par les différences liées à l'âge dans la MDT, qui sont à leur tour médiatisées par la réduction liée à l'âge de la vitesse de traitement (figure 3, extraite de Fristoe *et al.*, 1997). Le modèle proposé par ces auteurs fournit une explication de la diminution de la performance observée au WCST chez la personne âgée, qui résulterait de la relation entre l'âge et la vitesse de traitement.

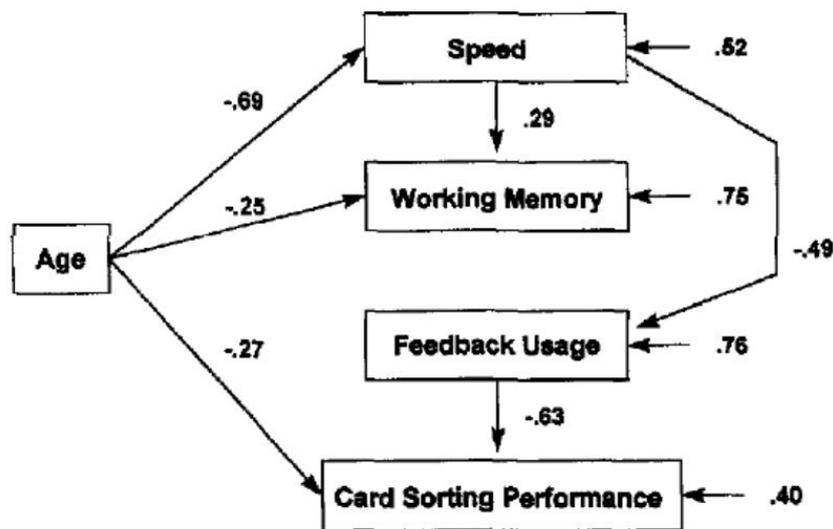


Figure 3 : Modèle d'analyse en pistes causales de la relation entre l'âge, la vitesse de traitement, la MDT, l'utilisation du feedback, et la performance au WCST (Fristoe *et al.*, 1997, p. 434).

Borella, Ludwig, Fagot & De Ribaupierre, (2011) se sont intéressés au rôle que joue la MDT dans une tâche de résistance à l'interférence. Pour cela les participants jeunes et âgés étaient répartis dans des groupes en fonction de leur niveau de capacité de MDT (faible et fort). La capacité de MDT était évaluée à partir d'une tâche d'empan de lecture (*reading span task*) dans laquelle il fallait retenir les

derniers mots des phrases temporairement en mémoire tout en portant un jugement sur le contenu sémantique des phrases. La résistance à l'interférence était évaluée par une tâche de *Hayling* dans laquelle il faut compléter une phrase dont le dernier mot manque par un mot attendu comme étant le plus probable (condition d'initiation), ou par un mot sans rapport sémantique avec la phrase mais correct grammaticalement (condition d'interférence). En utilisant les mêmes phrases dans la condition d'initiation et d'interférence, le mot devant être inhibé était précédemment activé. Les adultes âgés (60-88 ans) montrent une plus faible précision que les jeunes adultes (18-35 ans) ; les participants présentant un plus faible empan montrent également un coût supérieur à l'interférence que ceux présentant un empan fort. Cette étude suggère que les différences de capacité de MDT en plus des différences liées à l'âge jouent un rôle sur les différences observées dans la capacité à résister à l'interférence. Les conclusions de ces études montrent que la diminution de l'efficacité des processus exécutifs chez la personne âgée est liée à la capacité de MDT et à la vitesse de traitement.

La vitesse de traitement diminue avec l'âge et semble également être corrélée avec la composante fluide de l'intelligence. Les études menées sur l'évolution au cours de la vie des aptitudes intellectuelles ont révélé des différences importantes selon l'aptitude mise en jeu dans les tests d'intelligence. Après 20 ans, un déclin de l'intelligence non verbale et un maintien de l'intelligence verbale (Li *et al.*, 2004) sont observés, phénomène connu sous le terme de « profil classique du vieillissement cognitif ». Les théories du développement intellectuel au cours de la durée de la vie postulent que les habilités fluides se développent précocement durant l'enfance et déclinent plus précocement au cours du vieillissement que les habilités cristallisées (Baltes, Staudinger & Lindenberger, 1999).

Ces conclusions dessinent les liens qui semblent exister entre la diminution de la vitesse de traitement, l'efficacité cognitive et la diversité de la performance cognitive, avec l'avancée en âge. Elles montrent à nouveau la nécessité, dans l'étude du fonctionnement cognitif chez la personne âgée, de la prise en compte conjointe du ralentissement cognitif et des processus cognitifs qui sous-tendent l'activité de traitement, qu'il s'agisse de processus liés à la mémorisation ou au contrôle de l'activité. La question du vieillissement cognitif est complexe et la prise en compte de l'interaction des différents changements liés à l'âge dans les changements de

l'activité de traitement est nécessaire pour répondre aux questions dans ce domaine de recherche.

1.3.3. L'hypothèse de la réserve cognitive

L'hétérogénéité des effets de l'âge sur le fonctionnement cognitif peut trouver une explication dans l'hypothèse de la réserve cognitive (Kalpouzos, Eustache & Desgranges, 2008 ; Villeneuve & Belleville, 2010 ; Bastin, Simon, Kurth, Collette, Salmon, 2013). Selon cette hypothèse, certains individus résisteraient mieux aux modifications cérébrales que d'autres et conserveraient un bon fonctionnement malgré un niveau de changement cérébral relativement important. Des processus neurocognitifs compensatoires expliquent la variabilité des effets du vieillissement sur la cognition observée entre les individus.

La réserve cognitive pourrait expliquer la variabilité observée entre les individus dans la manifestation des troubles cognitifs pour des atteintes neurologiques identiques, aussi bien dans le vieillissement normal que pathologique. L'hypothèse de la réserve cognitive découle du constat de déclin cognitifs différents pour des personnes atteintes de dommages cérébraux similaires (Kalpouzos *et al.*, 2008 ; Villeneuve & Belleville, 2010). La réserve cognitive dans l'étude du vieillissement normal permet d'expliquer l'implication de mécanismes compensatoires lors de la diminution de l'efficacité du système cognitif liée aux modifications du cerveau. Certaines personnes pourraient recruter des zones cérébrales plus étendues ou plus efficaces pour faire face au déclin cognitif lié à l'âge. Chez les personnes âgées saines qui présentent une réserve cognitive élevée, le volume cérébral serait plus important que celles qui présentent une faible réserve cognitive. Le niveau social et le niveau d'éducation sont également des facteurs permettant de retarder les signes liés aux changements neurologiques (Kalpouzos *et al.*, 2008).

1.4. Vieillesse et contrôle cognitif

Le contrôle cognitif est une activité de traitement supérieure qui se distingue du traitement automatique et rapide de l'information. Il correspond à une activité volontaire impliquée dans des tâches complexes qui nécessitent de l'attention. Il est associé à la MDT et aux processus dits exécutifs. Ces processus sont très sensibles au

vieillesse. Les changements rencontrés par les personnes âgées se manifestent dans les activités quotidiennes qui nécessitent une planification, le maintien d'un but actif, une adaptation à de nouvelles situations, une résistance aux interférences qui peuvent entraver la résolution des tâches en cours et une orientation maintenue sur les informations pertinentes. De par sa complexité et son intervention dans de nombreuses tâches, le contrôle cognitif est objet d'étude de nombreuses recherches en psychologie. Nous proposons dans cette section une description des principaux modèles du contrôle cognitif puis examinons plusieurs hypothèses concernant le déclin lié à l'âge des processus de contrôle cognitif.

Il a été montré (Raz *et al.*, 2005) que l'évolution physiologique du vieillissement cérébral se traduit par des modifications du cortex préfrontal et du cortex pariétal. Le cortex préfrontal présente des changements liés à l'âge (le rétrécissement de la matière blanche augmente en vieillissant, et la réduction de la matière grise liée à l'âge est particulièrement prononcée dans la région préfrontale) et joue un rôle important dans le contrôle cognitif (pour revue, Godefroy, Jeannerod, Allain & Le Gall, 2008) et particulièrement lorsqu'il s'agit de réaliser une tâche tout en maintenant actif le but à atteindre. Le contrôle cognitif intervient dans les tâches nouvelles ou ambiguës (en opposition aux situations routinières, automatiques) lorsqu'il s'agit de résister aux interférences et est sensible aux exigences cognitives (lorsque la charge cognitive est élevée). Il est étudié avec des tâches complexes d'inhibition, de planification et d'alternance.

1.4.1. Quelques grands modèles du contrôle cognitif

Les recherches dans le domaine du contrôle cognitif sont à relier à celles sur le cortex préfrontal, sur la MDT et sur les fonctions exécutives.

- Le modèle du contrôle cognitif de Norman et Shallice (Norman & Shallice, 1986 ; Cooper & Shallice, 2000)

Norman et Shallice sont largement connus pour avoir proposé l'un des premiers modèles du contrôle cognitif (Norman & Shallice, 1986). Le but de leurs travaux était de montrer le rôle de l'attention dans le contrôle de l'action. L'idée de base est que les séquences d'actions peuvent se dérouler avec efficacité, sans besoin d'attention délibérée. Ils stipulent l'existence de schèmes d'action en mémoire pour répondre aux situations habituelles connues, qui requièrent la mise en œuvre de

processus automatiques et ne requièrent pas d'intervention de contrôle. Cependant, pour faire face à une nouvelle situation, lorsque la séquence d'action doit être modifiée ou lorsqu'il y a plusieurs actions possibles, l'intervention d'attention délibérée sur le traitement est nécessaire. Les auteurs proposent un mécanisme de sélection de l'action lorsque plusieurs schèmes (séquences d'actions) sont activés : le mécanisme de gestion de conflit (*contention scheduling*). Il règle le conflit et détermine l'action prioritaire parmi les actions en compétition. Norman et Shallice définissent le système de supervision attentionnel (SAS, *Supervisory Attentional System*) qui intervient pour les séquences d'actions mal apprises, nouvelles, en compétition ou lorsque l'action demande de la planification. Dans les autres cas la sélection se réalise par le seul mécanisme de gestion de conflit. Le modèle de Norman et Shallice suppose donc trois modalités de contrôle de l'activité : la première, automatique ; la seconde, par la gestion des processus en compétition sans orientation délibérée ; la troisième, par un contrôle délibéré et conscient des processus de traitement. Les actions peuvent être déclenchées de manière ascendante par les informations de l'environnement ou de manière descendante, orientées par les buts et sous-buts.

- Le modèle de la MDT (Baddeley, 2000 ; Baddeley & Hitch, 1994) :

Le modèle de la MDT de Baddeley (voir supra, pp. 15-16 : Baddeley, 2000) présente l'administrateur central comme un registre qui a pour fonction de contrôler, manipuler et coordonner les informations durant une durée limitée pour la résolution d'une tâche complexe nécessitant une mise à jour des informations traitées et le maintien d'un but à atteindre. L'administrateur central coordonne et supervise l'action des deux sous-systèmes asservis à savoir, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial. Le rôle de l'administrateur central pourrait être assimilé à celui du SAS du modèle de Norman et Shallice (1986).

- Théorie du contrôle cognitif au niveau de l'organisation cérébrale :

L'explication de l'organisation cérébrale a une importance dans la compréhension des processus de contrôle cognitif. Miller et Cohen (2001), dans une revue des études neurologiques et computationnelles sur l'activité de contrôle, ont proposé une théorie intégrative des fonctions du cortex préfrontal (CPF). Le rôle du CPF dans les comportements *top-down* (processus descendants), volontaires et

orientés est important comparé aux situations simples, automatiques pour lesquelles il a peu d'influence.

1.4.2. Le modèle de Braver : un double mécanisme de contrôle cognitif

Le modèle du contrôle cognitif qui retient particulièrement notre attention pour l'étude du contrôle cognitif chez la personne âgée est la théorie du traitement du contexte selon Braver et ses collaborateurs : « *the Dual-Mechanisms of Control framework* » qui suggère un double mécanisme du contrôle cognitif. Nous rappellerons maintenant les principales caractéristiques de cette théorie ainsi que les aspects méthodologiques qui ont permis de la valider et ses applications pour l'étude du vieillissement cognitif.

1.4.2.1. Cadre théorique

La théorie du traitement du contexte, définie par Braver et ses collaborateurs (Braver, Barch & Cohen, 1999 ; Braver, Barch, Keys, Carter, Cohen, Kaye, Janowsky, Taylor, Yesavage, Mumenthaler, Jagust & Reed, 2001; Braver & Barch, 2002 ; Braver, Satpute, Rush, Racine & Barch 2005, Paxton, Barch, Storandt, & Braver, 2006 ; Braver, 2012), concerne l'étude des processus impliqués dans le contrôle cognitif, l'inhibition cognitive, les processus de mise à jour et de maintien de l'information contextuelle (rôle exécutif de la MDT). Le traitement de l'information contextuelle appelée « contexte » par Braver et ses collaborateurs a fait l'objet de plusieurs études. Les auteurs ont effectué leurs recherches en exploitant notamment un test de performance continue, la tâche AX-cpt (*AX – Continuous Performance Test*) et en utilisant des techniques de neuro-imagerie auprès de personnes jeunes, âgées, et atteintes de pathologies neurologiques et mentales. Les auteurs étudient les processus cognitifs multiples interagissant entre eux et engagés dans le traitement du contexte.

Un postulat de base dans la théorie de Braver concerne le rôle essentiel que joue la représentation interne du but à atteindre pour résoudre la tâche en cours dans le traitement de l'information contextuelle. Cette représentation interne du but à atteindre permet de réguler les actions et les pensées en constante relation. Il s'agit de traiter correctement l'information pertinente sans être gêné par les informations interférentes ; cette action représente une composante cognitive au cœur du contrôle

cognitif. Les auteurs font l'hypothèse d'un double mécanisme de contrôle (« *Dual Mechanisms of Control* » : DMC) reposant sur deux entités spécifiques de contrôle cognitif mises en jeu dans le traitement du contexte: un mécanisme de contrôle proactif et un mécanisme de contrôle réactif (Braver, 2012) :

- le contrôle proactif serait impliqué dans l'anticipation et la prévention de l'interférence. Il peut être conceptualisé comme une sélection précoce de l'information pertinente au regard du but à atteindre, cette action étant activement maintenue de manière soutenue avant l'apparition de l'évènement cognitivement exigeant pour optimiser le biais du système d'attention de perception et d'action.

- le contrôle réactif serait impliqué dans la détection et la résolution de l'interférence. Par opposition au contrôle proactif, l'attention est requise comme un mécanisme de correction tardif qui est mobilisé seulement si besoin et de manière « juste à temps », après qu'un élément d'interférence élevée a été détecté.

Le traitement du contexte semble être un composant central du contrôle cognitif. La représentation interne active du contexte peut servir de signal pour l'attention, de guide pour les processus d'inhibition et de structure d'encodage, de maintenance et de récupération de l'information en mémoire (Braver & Barch 2002). Pour Braver, la représentation du contexte code l'information pertinente (appropriée) à la tâche. Elle peut être assimilée à une représentation cible qui tend à exercer une influence sur la planification et le comportement manifeste.

La représentation du contexte est particulièrement importante pour les situations dans lesquelles il y a une forte compétition pour sélectionner la réponse. Cette situation se produit quand la réponse appropriée est celle qui est relativement peu fréquente ou quand la réponse inappropriée est dominante et doit être inhibée. Dans les tâches de MDT l'activation de la représentation du contexte est une opération qui aide à transformer les informations maintenues en MDT.

La théorie du contrôle cognitif de Braver postule que les mécanismes neurologiques, à savoir la fonction de la projection de dopamine (DA) vers le cortex préfrontal (PFC), font partie intégrante de la représentation, du maintien et de la mise à jour de l'information du contexte (Braver & Barch 2002). Le modèle se base sur un traitement parallèle (figure 4) et propose trois traits caractéristiques du traitement du contexte :

1-Le premier est une connectivité récurrente au sein des couches contextuelles qui permet le maintien actif de l'information.

2-Le second est la connexion de rétroaction (*feedback connections*) à la voie directe, qui fournit une signification au sein des modules du contexte pour apporter une source additionnelle de données et peut moduler le flux de traitement au sein de la voie directe. Le *feedback* des couches contextuelles permet une discrimination (*bias*) au sein des représentations en compétition au sein de chaque module, en favorisant l'activation d'une voie ou d'un ensemble de représentations. L'action de discrimination (*biasing*) permet des effets inhibiteurs sur le traitement, par renforcement de l'activation d'une autre voie faible et lui permet de rentrer en concurrence avec la plus dominante.

3-Le troisième trait est l'entrée modulatrice (*modulatory input*) qui reflète les fonctions de projection de DA dans la portion dorso latérale du cortex préfrontal (DL-PFC). Cette connexion régule l'accès des entrées afférentes dans le module contexte. L'hypothèse est que ces connexions servent de mécanisme de porte d'entrée (*gating*). Lorsque la porte est ouverte, cela permet une mise à jour de la représentation du contexte. Lorsqu'elle est fermée, l'accès est restreint et protège la représentation du contexte de l'effet d'interférence et des informations non pertinentes.

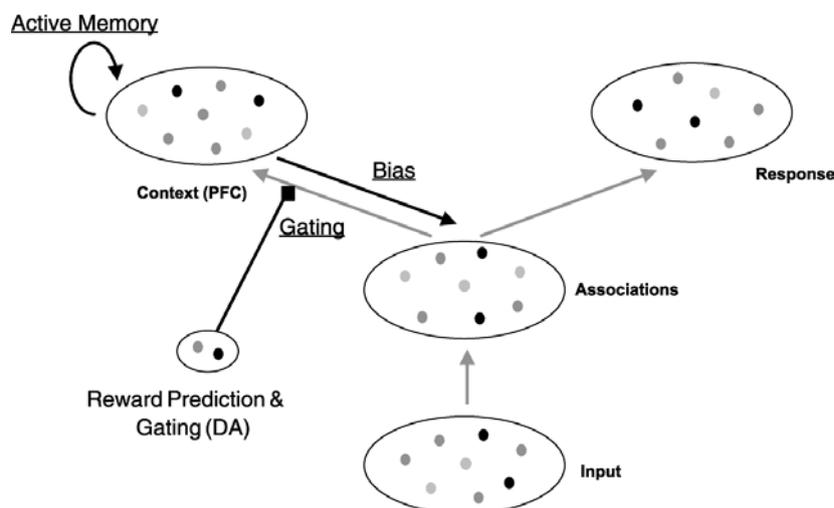


Figure 4 : Diagramme du modèle canonique : les principes clés computationnels du traitement du contexte sont présentés : 1) activation de la mémoire (*active memory*) à travers les connexions récurrentes, 2) biais descendant (*top-down bias*) à travers les connexions de rétroaction (feedback), 3) accès régulé des données contextuelles à travers les connexions des portes modulatrices (*modulatory gating connections*) (Braver, 2002 ; p. 811).

L'intérêt de Braver et de ses collaborateurs pour l'étude des différences dans la mise en œuvre du contrôle cognitif vient du fait que les différences observées dans les performances cognitives pourraient être dues aux différences d'efficacité des mécanismes de contrôle cognitif et qu'elles sont encore peu comprises. Les auteurs stipulent que les sources de variation observées pourraient être de nature génétique, environnementale et « se trouver » dans les mécanismes neurologiques (Braver, Cole & Yarkoni, 2010).

D'après ces auteurs, le composant au cœur de l'activité de contrôle cognitif (l'habilité à réguler les pensées et les actions en accord avec les buts internes) serait sa variabilité intrinsèque. Le DMC repose sur une distinction dynamique des modalités proactives et réactives du contrôle (au sein du PFC) pour une performance cognitive optimale.

L'efficacité du contrôle dépend des mélanges des deux modes proactif et réactif de contrôle. Des biais peuvent favoriser une des stratégies par rapport à l'autre et dépendent des tâches mais aussi des caractéristiques des individus.

Braver (2012) s'est intéressé aux sources de variation du contrôle expliquées par le DMC en termes de biais de contrôle proactif et réactif. Il en distingue trois sortes :

- intra-individuelle : variation entre stratégies de contrôle proactive et réactive au cours de la tâche et selon les conditions de hautes ou faibles interférences ;
- interindividuelle : préférence individuelle à exercer un mode proactif ou réactif du contrôle comme un trait stable de l'individu ;
- intergroupes : différences observées dans la mise en œuvre de contrôle entre des adultes sains, des adultes avec schizophrénie, des adultes âgés sains et des adultes âgés avec maladie d'Alzheimer.

Nous nous attacherons dans la suite de cette présentation aux différences entre groupes d'âge différent.

1.4.2.2. Le paradigme AX-cpt

Le paradigme AX-cpt est une version modifiée du test classique de performance continue (Rosvold, Mirsky, Sarason, Bransome & Beck, 1956). Ce

paradigme permet l'évaluation des fonctions de contrôle cognitif à travers les fonctions de traitement du contexte. La réalisation de la tâche AX-cpt nécessite l'activation et le maintien de l'information contextuelle pour guider la réponse suite à des stimuli ambigus. Ces processus renvoient à une dissociation au sein du construit du traitement du contexte entre la mise à jour et la fonction de maintien (Braver *et al.*, 2005). La représentation du contexte est particulièrement importante pour les situations dans lesquelles il y a une forte compétition pour sélectionner la réponse attendue. Braver et collaborateurs ont utilisé dans leurs recherches une version spécialement modifiée du paradigme AX-cpt pour accéder aux fonctions du traitement du contexte (Braver *et al.*, 2001 ; Braver & Barch 2002 ; Braver *et al.*, 2005 ; Paxton *et al.*, 2006 ; Cohen, Barch, Carter, & Servan-Schreiber, 1999; Servan-Schreiber, Cohen, & Steingard, 1996). La caractéristique principale de la tâche AX-cpt est qu'elle rend possible l'analyse sélective de la représentation et du maintien de l'information liée au contexte.

- Description de la tâche

La tâche peut être décrite de la manière suivante : des séquences de lettres A, X, B et Y sont présentées les unes après les autres sur un écran d'ordinateur sous la forme d'une série de paires de lettres *signal - sonde* (*Cue - Probe*). Les lettres A et B sont des lettres « signal » et les lettres X et Y sont les lettres « sondes ». L'essai « cible » est l'essai AX c'est-à-dire le signal A suivi de la sonde X. Les essais « Non cible » sont les essais AY, BY et BX, l'essai BY constituant l'essai contrôle. Les participants ont pour consigne d'indiquer si la lettre présentée à l'écran est la cible. Ainsi, lorsque la lettre X présente à l'écran est précédée de la lettre A, le sujet doit répondre « oui » et « non » dans tous les autres cas. Dans le paradigme utilisé par Braver et ses collaborateurs, l'essai AX apparaît avec une occurrence de 70% alors que chacune des autres paires apparaît dans 10% des cas.

La manipulation par Braver (1999) de l'occurrence de la cible AX, présente majoritairement au sein d'un bloc d'essais, provoque deux biais. La cible AX représente en effet l'information contextuelle majoritairement traitée par l'individu qui réalise la tâche. C'est sur ce point précis que se jouent les enjeux de la tâche en termes d'évaluation de processus de contrôle exécutif. Deux biais sont induits par cette architecture de la tâche (figure 5) : les biais d'inhibition et d'attente.

1-Le premier biais ou « biais d'inhibition » est induit par la présentation de la lettre B avant celle de la sonde X qui active la représentation de la réponse cible. Ce biais est provoqué par une défaillance du contrôle réactif en raison de la présentation d'une majorité de paires AX.

2-Le second biais ou « biais d'attente » est induit par la présentation de la lettre A avant celle de la sonde Y. Lorsque la lettre Y suit la lettre A, l'erreur provoquée par l'attente d'un X est une fausse alarme. Cette séquence AY devrait induire une difficulté de mise en œuvre du contrôle proactif. Le contrôle proactif peut résulter d'une représentation contextuelle stimulée par un stimulus signal et maintenue durant un délai avant la sonde.

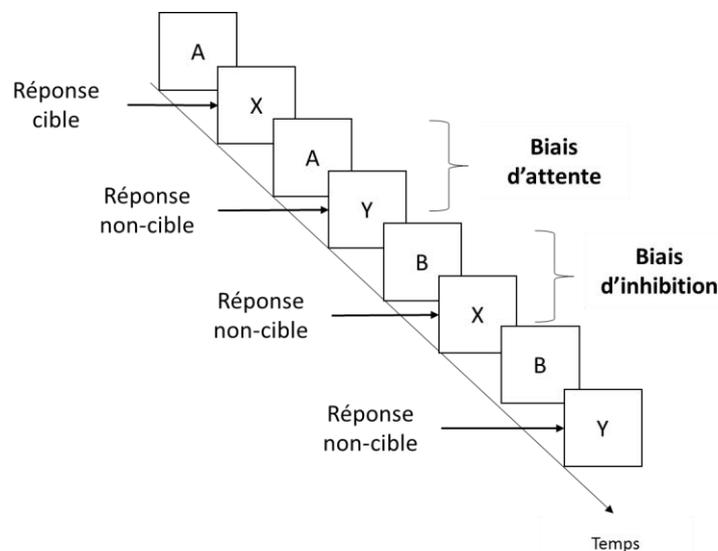


Figure 5: Schéma du paradigme AX-cpt. Biais d'attente et Biais d'inhibition. Des lettres isolées sont montrées visuellement sur un écran d'ordinateur, la cible est définie par l'apparition d'une sonde X se situant immédiatement après le signal A. Il y a trois types d'essai non cible : BX, AY, BY (avec B : signal non-A, et Y : sonde non-X).

L'étude de Braver (2001) est l'une des premières dans laquelle le paradigme AX-cpt a été exploité. Le paradigme AX-cpt peut fournir un moyen pour examiner le rôle mnémorique de l'information contextuelle à travers la durée de l'intervalle de temps entre le signal et la sonde (le délai « signal – sonde »). Spécifiquement, sous la condition dans laquelle il y a un long délai (5 à 10 secondes), l'information contextuelle peut être maintenue active durant ce laps de temps en MDT. On s'attend donc à ce que le délai interagisse avec la performance aux essais AY et BX. Si le maintien du contexte est intact, la puissance de la représentation de contexte peut rester constante ou augmenter avec le délai « signal – sonde ». Par conséquent, la

performance aux essais BX restera constante ou s'améliorera avec un délai de plus en plus long alors que la performance aux essais AY restera constante ou se détériorera avec le délai. Inversement, si le maintien du contexte est altéré, la représentation du contexte peut perdre de la force avec le temps, ce qui devrait conduire à une détérioration des performances aux essais BX lorsque le délai augmente mais à une amélioration de la performance aux essais AY (figure 6).

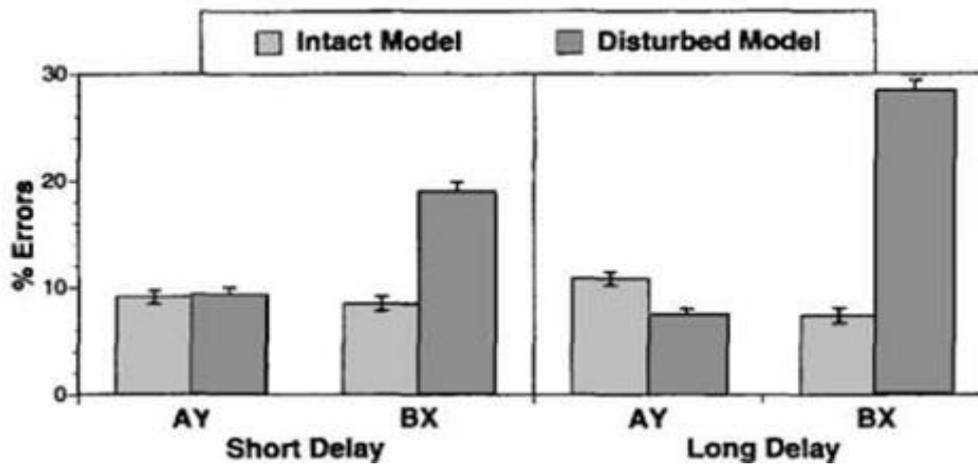


Figure 6 : Effet du maintien du contexte (intact vs altéré) sur les performances à la tâche AX-cpt: données simulées, (extrait de Braver *et al.*, 2001, p. 751).

1.4.2.3. Résultats chez la personne âgée

Un changement cognitif plus prononcé chez la personne âgée est observé pour des tâches demandant un haut degré de contrôle cognitif, par exemple, quand l'attention endogène doit être intensivement dirigée (en présence de distracteurs, d'interférences), lorsqu'une réponse à tendance dominante doit être inhibée ou lorsqu'une information doit être maintenue sous une forme facilement accessible en MDT (voir *supra*). Les théoriciens de la MDT s'accordent sur le fait que les processus de contrôle sont des composants critiques des fonctions de la MDT (Baddeley, 2000). Plusieurs mécanismes internes peuvent : i) être responsables de la sélection de l'information pour maintenir l'information active en MDT ; ii) garantir qu'elle peut être stockée pendant une certaine durée ; iii) exercer une protection contre les sources d'interférence ; iv) actualiser les mises à jour ; v) influencer d'autres systèmes cognitifs (perception, attention, mémoire). Une question importante est évidemment celle de savoir si des composants distincts du traitement du contexte sont atteints différemment par le vieillissement.

Plusieurs hypothèses sur les mécanismes altérés par opposition à ceux préservés par le vieillissement dans le traitement du contexte ont été testées par Braver et ses collaborateurs (Braver *et al.*, 2001 ; Braver & Barch 2002 ; Braver *et al.*, 2005 ; Paxton *et al.*, 2006). Selon ces auteurs, le déficit du traitement du contexte chez les personnes âgées pour ces fonctions serait lié au déclin de la fonction du système dopaminergique (DA) dans le cortex préfrontal. Pour tester leur hypothèse les auteurs ont choisi une tâche simple de contrôle cognitif qui permet d'évaluer les différentes demandes cognitives du traitement du contexte, les fonctions de mise à jour et de maintien de l'information contextuelle. Le paradigme utilisé est une variante du paradigme AX-cpt. Les observations effectuées montrent que les jeunes adultes présentent un haut degré d'espérance induite par le contexte (faible performance en AY) et une faible incidence de l'interférence due au mauvais contexte (bonne performance à BX).

Dans l'étude de Braver *et al.*, (2001), le paradigme AX-cpt est exploité dans le but de proposer un moyen pour examiner et comparer chez les sujets jeunes et âgés le rôle mnémonique de l'information contextuelle à travers la durée du délai « signal – sonde ».

Manipulation du délai signal-sonde :

Le modèle du contrôle cognitif suggère une relation entre la représentation et mise à jour du contexte et le maintien du contexte qui peut s'examiner à travers l'influence du délai « signal-sonde » sur les performances d'AX-cpt. La manipulation du délai permet d'étudier le maintien du contexte et pas seulement sa représentation. Spécifiquement, l'hypothèse repose sur l'idée que sous la condition dans laquelle il y a un long délai (5 à 10 secondes), l'information contextuelle peut être maintenue en MDT. On s'attend donc à ce que le délai « signal – sonde » interagisse avec les performances aux essais AY et BX.

Les auteurs ont conclu que la diminution des fonctions du traitement du contexte à travers la simulation de la réduction des effets de DA dans le DL-PFC produit ces effets sur le modèle comportemental. Par exemple, dans le cas d'un système altéré, il y a plus d'erreur BX que AY et cet effet s'amplifie avec le délai. Un pattern similaire a lieu pour les TR (i.e. un ralentissement plus important pour BX que pour AY) et cet effet s'amplifie avec le délai. A l'inverse, les performances

BY sont similaires dans les modèles intact et altéré. Ces effets de simulation du système altéré de projection de DA dans le DL-PFC représentent des prédictions pour le modèle concernant les changements liés à l'âge du pattern d'activation cérébrale et comportemental. Comme cela a été argumenté par les auteurs, l'hypothèse est que le système altéré de projection de DA dans le DL-PFC concerne le vieillissement normal.

Les auteurs ont conduit une série d'études validant les prédictions neurologiques et comportementales de leur modèle en termes de fonctions de traitement du contexte normales. Au niveau comportemental, Braver et collaborateurs ont montré, dans une étude sur plus de 200 adultes (Braver *et al.*, 1999), que leur modèle explique les aspects détaillés des performances à la tâche AX-cpt. En particulier la relation entre les performances des essais AY et BX (les erreurs et le TR aux essais AY supérieurs à ceux des essais BX) et l'interaction de ces effets avec la durée de délai « signal – sonde » (la performance des essais AY décline avec l'augmentation du délai et celle de BX s'améliore légèrement).

Le contexte est considéré comme le sous-ensemble de représentations au sein de la MDT qui gouverne l'utilisation des autres représentations. De cette manière, les représentations contextuelles favorisent simultanément les fonctions de mémoire et de contrôle. Cet aspect du modèle le différencie du modèle standard qui défend une séparation stricte entre les représentations pour le stockage et celles pour le contrôle. Pour Braver, quand la projection de DA (dopamine) dans le DL-PFC est altérée, il y a plus d'erreurs commises aux essais BX qu'aux essais AY, et cet effet s'amplifie avec l'augmentation du délai (défaut du maintien du contexte). Des schémas similaires sont observés sur les TR : les TR aux essais BX sont plus importants qu'aux essais AY et cet effet s'amplifie avec l'augmentation du délai. Ces effets de simulation de la projection altérée de DA dans le DL-PFC offrent des prédictions aussi bien en termes de changement de schéma d'activation cérébrale qu'en termes de changements comportementaux. Dans la mesure où la projection de DA est altérée dans le DL-PFC par le vieillissement normal, le modèle permet de prédire les patterns d'activation cérébrale et les patterns comportementaux attendus à la tâche AX-cpt dans cette population.

Après avoir validé leur modèle chez des adultes jeunes, les auteurs étendent leurs études au domaine du vieillissement normal. Leur modèle concernant les effets

comportementaux du déficit du traitement du contexte a été testé chez les personnes âgées. Dans cette étude, 175 jeunes adultes (18-39) et 81 adultes plus âgés (65-85) ont été soumis à la tâche AX-cpt. Ils réalisent la tâche AX-cpt sous trois conditions différentes : condition de référence, condition « interférence » et condition « dégradation » (figure 7), qui étudient différemment les effets de la représentation du contexte et de la difficulté de la tâche sur les performances.

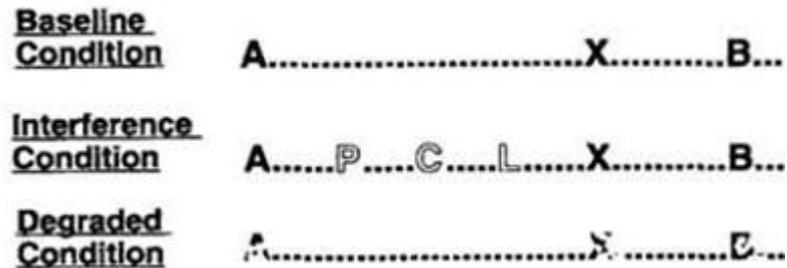


Figure 7: Les trois conditions de la tâche AX-cpt : condition de référence (*baseline condition*), condition « interférence » (*interference condition*) et condition « dégradation » (*degraded condition*), (extrait de Braver *et al.*, 2001, p. 753).

Dans les 3 conditions, les auteurs testent la spécificité de leurs prédictions en manipulant la difficulté de la tâche :

1-Dans la condition de référence, un long délai est introduit entre le signal et la sonde (environ 5 secondes).

2-Dans la condition « interférence », les participants réalisent la tâche avec des stimuli distracteurs non pertinents (des lettres de couleurs différentes) apparaissant durant le délai « signal-sonde ». Cette manipulation est faite dans le but d'augmenter la difficulté de la tâche en augmentant la demande de la représentation et de maintien du contexte.

3-Dans la condition « dégradation », la tâche est proposée avec des stimuli visuels « dégradés ». Cette difficulté est rajoutée dans le but d'augmenter la demande perceptive et non la demande de représentation et maintien du contexte.

Les stimuli étaient présentés de manière centrale, rouge sur fond noir pendant 300 ms avec un délai de 4900 ms entre la présentation du signal et celle de la sonde. L'intervalle entre les essais était de 1000 ms. Pour augmenter la difficulté, les participants devaient répondre sur les deux stimuli (sur le signal et sur la sonde). Les participants avaient 1300 ms pour répondre et les réponses plus lentes n'étaient pas

enregistrées. Les participants étaient testés sur une seule session, avec des blocs de 30 essais, 5 blocs pour chaque condition.

Les auteurs font l'hypothèse dans cette recherche que les performances des adultes âgés seront affectées dans la condition « interférence » mais ne le seront pas dans la condition « dégradation ». L'explication suggérée est que pour les sujets âgés, les changements de performances à la tâche AX-cpt sont liés au traitement du contexte mais ne sont pas liés à d'autres facteurs qui affecteraient la difficulté de la tâche.

Les résultats obtenus montrent que dans la condition de référence (figure 8), le taux d'erreurs et le TR des essais AY et BX sont supérieurs à ce qui est observé aux essais contrôles BY (les réponses des essais AY et BX sont comparées à celles de BY car l'essai BY n'est pas influencé par l'effet de contexte). Aucun effet de l'âge sur le taux d'erreurs n'est observé, aussi bien pour les essais non cibles que les essais cibles. Mais un effet principal de l'âge sur les TR est mis en évidence. Ce résultat est en accord avec le résultat classique d'un ralentissement lié à l'âge. Notons que Braver et ses collaborateurs constatent que le ralentissement lié à l'âge est plus important pour les essais BX que pour les essais BY et qu'il n'y a pas de ralentissement lié à l'âge pour les essais AY. Ces résultats sont en accord avec les prédictions du modèle de Braver *et al.* (2001).

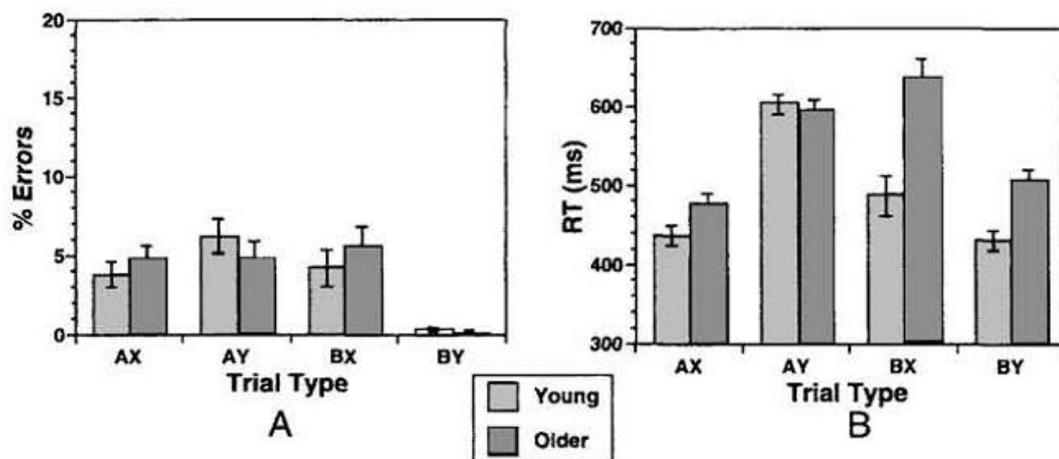


Figure 8: Taux d'erreurs et TR chez les adultes jeunes et âgés dans la condition de référence A (taux d'erreur) : il y a plus d'erreurs aux essais BX mais moins aux essais AY chez les adultes âgés. B (TR ; seulement pour les réponses correctes) les adultes âgés montrent un ralentissement important sur les essais BX comparé aux essais BY mais comparable à la vitesse de réponses des essais AY (extrait de Braver *et al.*, 2001, p. 753).

Plus précisément, dans les deux conditions « interférence » et « dégradation », les données recueillies montrent que le taux d'erreur est supérieur à celui obtenu dans la condition de référence, confirmant ainsi la plus grande difficulté de ces conditions.

Dans la condition « interférence » (figure 9), les adultes âgés commettent plus d'erreurs aux essais AX et BX que les jeunes adultes et moins d'erreurs aux essais AY que les jeunes adultes. Il n'y a pas de différence liée à l'âge du taux d'erreur aux essais BY. Le ralentissement lié à l'âge est plus important dans la condition « interférence » que dans la condition de référence. Il est aussi plus important aux essais BX qu'aux essais BY. Les changements liés à l'âge dans le paradigme AX-cpt sont enfin plus importants dans la condition d'interférence.

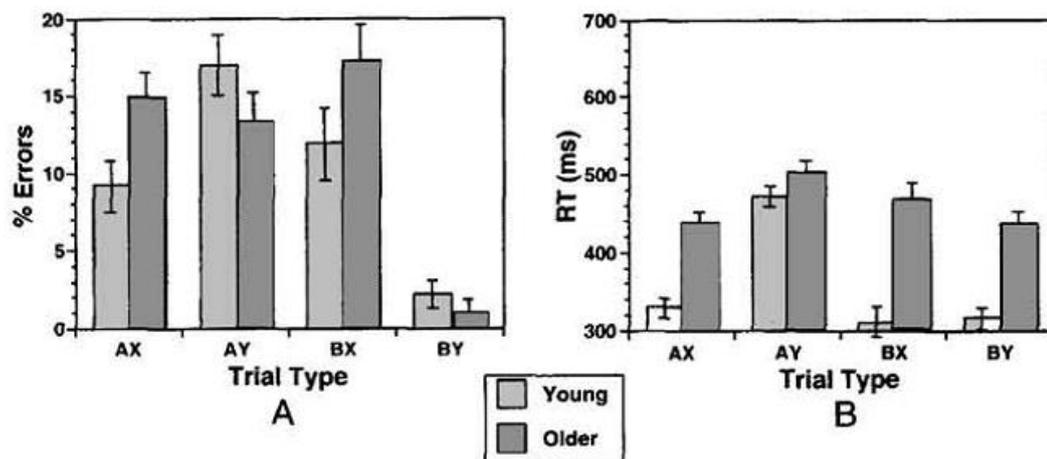


Figure 9: Taux d'erreurs et TR chez les adultes jeunes et âgés dans la condition « interférence » : A (taux d'erreurs): les adultes âgés font significativement plus d'erreurs que les jeunes adultes sur les essais AX et BX mais significativement moins d'erreurs sur les essais AY. B (TR ; bonnes réponses seulement) : les adultes âgés montrent un ralentissement important pour répondre aux essais BX en comparaison avec les essais BY mais un ralentissement moins important comparé aux essais AY (extrait de Braver *et al.*, 2001, p. 755)

Dans la condition « dégradation » (figure 10) et en comparaison avec la condition de référence, aucun effet n'est observé sur le taux d'erreurs des essais non-cibles. Cependant, l'observation d'un effet de la condition sur le taux d'erreurs des essais cibles reflète une augmentation de la différence liée à l'âge dans la condition dégradée en comparaison avec la condition de référence. Pour les essais cibles et concernant les effets de l'âge sur le taux d'erreur, les résultats sont comparables à la

condition « interférence ». Il n'y a pas d'effet de la condition sur les TR ni sur les essais cibles, ni sur les essais non-cibles.

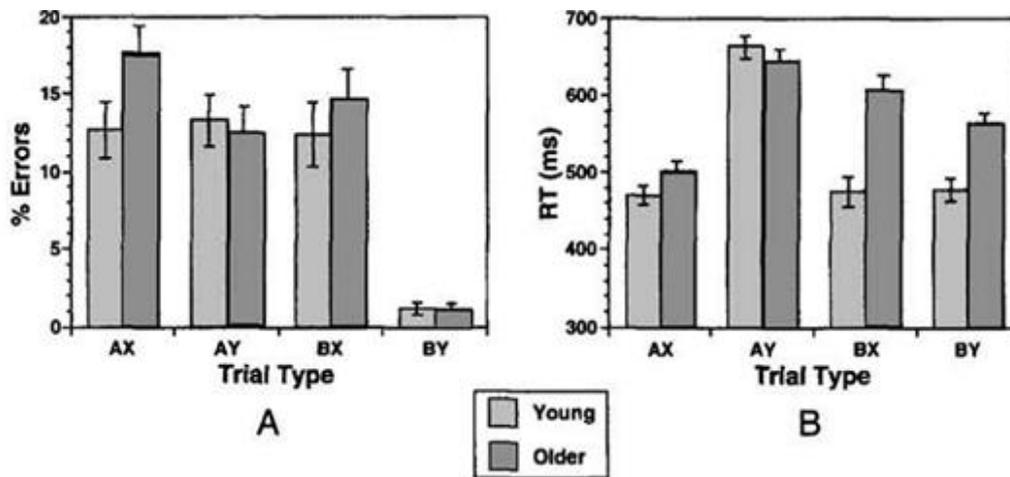


Figure 10 : Taux d'erreurs et TR chez les adultes jeunes et âgés dans la condition « dégradation ». A (taux d'erreurs) : il n'y a pas de différence liée à l'âge sur les essais AY et BX. B (TR) : résultats similaires à ceux de la condition de référence concernant les TR (extrait de Braver *et al.*, 2001, p. 755).

Dans les trois conditions, les auteurs ont observé un ralentissement des TR lié à l'âge. Le modèle de contrôle cognitif s'accorde bien avec les performances de la tâche AX-cpt des personnes âgées en bonne santé. Les adultes âgés en bonne santé font plus d'erreurs aux essais BX qu'aux essais BY. Ce pattern et le contraste des patterns de performance s'amplifient entre les jeunes et les âgés dans la condition de plus grande demande du traitement du contexte, spécifiquement dans la condition « interférence ». Dans cette condition, les adultes âgés font plus d'erreurs aux items BX que les jeunes adultes mais significativement moins d'erreurs aux items AY. Un résultat particulièrement intéressant concerne le fait que le TR des adultes âgés aux essais AY est équivalent à celui des jeunes adultes. Dans les 3 conditions, le TR des essais AY est négativement associé à l'âge. Ce dernier résultat, assez contre-intuitif souligne l'intérêt du modèle de contrôle cognitif et de ses applications dans l'étude du vieillissement normal.

Les résultats de cette étude princeps ont également montré qu'en comparaison des participants jeunes, les participants âgés faisaient plus d'erreurs aux essais BX et moins d'erreurs aux essais AY. Ces résultats sont en accord avec les prédictions du modèle selon lesquelles :

- un système cognitif préservé doit faire plus d'erreurs aux essais AY qu'aux essais BX ;
- un système cognitif perturbé doit produire plus d'erreurs aux essais BX et moins d'erreurs aux essais AY.

L'étude de l'effet de l'âge et du délai par les auteurs (Braver & Barch, 2002) a montré qu'un même effet du délai est observé chez les jeunes adultes (18-39 ans) et chez les adultes âgés (66-75 ans) (lorsque le délai augmente le taux d'erreur des essais AY augmente et celui des essais BX diminue). Chez les adultes très âgés (76-92 ans) l'effet du délai est inversé spécialement en termes d'erreur.

L'utilisation du contexte par les adultes âgés a été également étudiée par Paxton *et al.*, (2006). Les auteurs manipulent dans cette étude l'accessibilité de l'information du signal en manipulant la durée de la présentation du signal et en variant la durée du délai. Ils cherchent aussi à savoir si l'accessibilité du signal peut avoir un effet quand la demande de maintien du contexte est plus importante. Les participants de cette étude sont 24 adultes âgés (68-87 ans) et 24 jeunes adultes (18-24 ans). La tâche AX-cpt (essais AX : 70% ; essais AY : 10% ; essais BX : 10% ; essais BY : 10%) est administrée en manipulant les variables « maintien » (standard, faible) et « délai » (court, long). Chaque participant est placé dans les conditions maintien standard et maintien faible pour chacun des deux délais « signal-sonde » (1000 ms vs 5000 ms) soit quatre blocs de 100 essais. Dans la condition de maintien standard, la durée de l'apparition de la lettre signal est de 750 ms suivie d'un délai sans information de 1000 ou 5000 ms à la fin duquel la lettre sonde apparaît pendant 750 ms. Dans la condition maintien faible, la lettre signal reste visuellement présente pendant toute la durée du délai (soit 1700 ms, soit 5700 ms). A la fin de cette période, le signal est remplacé par la sonde après un très bref intervalle de 50 ms. Pour tous les essais, les participants devaient répondre en moins de 1500 ms.

Les erreurs des jeunes adultes et des adultes âgés sont comparées pour chaque condition expérimentale. Les auteurs observent que les adultes âgés font moins d'erreurs aux essais AY que les jeunes adultes mais ne diffèrent pas de ces derniers pour les trois autres essais. Les jeunes adultes font pour leur part plus d'erreurs aux essais AY qu'aux essais BX et cette différence n'est pas observée chez les adultes âgés. On n'observe pas d'effet du délai ni d'effet de la condition « maintien » (la

durée de la présentation du signal) sur la précision. L'absence d'effet de la condition « maintien » (standard vs faible maintien) indique qu'elle n'influence pas le taux de bonnes réponses et n'altère pas la performance des adultes âgés. On ne constate pas non plus d'effet du délai. Concernant les TR, les participants répondent significativement plus rapidement lorsque le délai est court. Mais le facteur délai ne présente pas d'interaction avec l'âge ou le type d'essai. Les TR des adultes âgés étaient plus importants sur les essais de type BX mais pas sur les autres types d'essai. Ces résultats répliquent ceux de Braver *et al.* (2002, 2005). Les adultes âgés présentent des TR plus longs que les jeunes adultes dans la condition maintien faible et pas dans la condition de maintien standard. Quand la tâche est plus aisée, en réduisant le besoin de maintien du signal, les adultes âgés sont plus lents et non plus rapides. Les auteurs ont également observé une tendance selon laquelle les participants âgés seraient plus rapides pour répondre aux essais AY que les jeunes.

D'après les auteurs, les différences liées à l'âge dans la tâche AX-cpt pourraient venir d'une différence de stratégie de contrôle cognitif entre les deux groupes d'âge. Une stratégie de contrôle majoritairement utilisée par les jeunes adultes semble être une stratégie proactive, qui implique la préparation d'une réponse avant l'apparition de la sonde (Braver *et al.*, 2001, 2002). A l'inverse, les adultes âgés utiliseraient une stratégie réactive dans laquelle ils réactivent l'information pertinente du signal, après l'apparition de la sonde, si l'information est ambiguë (c'est à dire aux essais BX). Cette approche réactive augmenterait les TR aux essais BX.

Dans une autre étude menée par Braver, Satpute, Rush, Racine et Barch (2005), les auteurs comparent des jeunes adultes (âge moyen : 19.8 ans), des adultes âgés (âge moyen : 71.7 ans), des adultes très âgés (âge moyen : 80.1 ans) et des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer (MA) à des stades précoces (âge moyen : 81 ans). Ils manipulent le délai signal-sonde (long vs court) dans la tâche AX-cpt et placent les participants dans deux conditions: un délai signal-sonde court (1000 ms) et un délai signal-sonde long (5000 ms). Les stimuli sont présentés pendant 500 ms. Les auteurs observent comme attendu un ralentissement lié à l'âge, mais avec une plus petite différence des TR entre les essais AY et BY pour les adultes âgés que pour les adultes jeunes. Cela signifie que pour la même sonde non-cible Y, les adultes âgés sont moins gênés par l'interférence liée au signal A que les

adultes jeunes. A l'inverse les adultes âgés montrent une plus grande différence entre les essais BX et BY que les plus jeunes, ce qui signifie que lorsque le signal est constant, les personnes âgées montrent une plus grande interférence liée à la sonde cible X. Les auteurs montrent également une plus grande interférence liée à un long délai pour les essais AY chez les plus jeunes seulement (l'interférence liée au contexte augmente chez les jeunes adultes entre un délai court et un délai long). Les adultes âgés font de leur côté moins d'erreurs aux essais AY que les jeunes adultes. Les résultats comparant les performances des adultes âgés et des adultes très âgés montrent qu'il n'y a pas de différences liées à l'âge pour un délai signal-sonde court. Un effet de l'âge est cependant observé lorsque le délai est long, les adultes très âgés faisant significativement moins d'erreurs que les adultes âgés aux essais AY et tendant à commettre plus d'erreurs aux essais BX. Les résultats ne montrent pas d'effet de l'âge ni du délai sur les TR aux essais non-cibles. Cependant, pour les essais cibles AX, l'effet du délai est plus important chez les adultes très âgés que chez les adultes âgés. Les premiers sont plus lents pour répondre aux essais cibles lorsque le délai était long que lorsque le délai était court. Concernant enfin la comparaison entre les adultes très âgés et les adultes atteints de démence, aucun effet du délai n'est observé sur les essais non-cibles. Les participants atteints de démence font cependant globalement plus d'erreurs que les adultes très âgés à tous les types d'essais, y compris aux essais neutres BY. Les auteurs signalent toutefois une tendance concernant l'interaction entre le type d'essais et le groupe, avec une augmentation chez les adultes âgés atteints de démence du taux d'erreur aux essais BY (1.4%) plus faible que celle des essais AY (4.8%) et BX (10.3%).

Après avoir contrôlé le ralentissement des participants âgés, Braver et collaborateurs (Braver *et al.*, 2005) mettent en évidence des effets de l'âge sur les TR aux essais BX et AY qui suggèrent qu'en comparaison des jeunes adultes, les adultes âgés traitent différemment le contexte. Ces effets sont présents pour les deux conditions (délai long et court), indiquant un déficit des plus âgés dans l'activation et la mise à jour du contexte mais pas dans le maintien de contexte. De plus, comparés aux âgés, les « très âgés » (plus de 75 ans) ont un même niveau de performance lorsque le délai est court mais sont moins performants dans le traitement du contexte lorsque le délai est long. Ces résultats suggèrent que l'avancée en âge des adultes âgés s'accompagne d'un déficit du maintien du contexte mais pas de changements

dans l'activation et la mise à jour du contexte. Les participants atteints de MA présentent également un plus grand déficit de maintien du contexte que les adultes âgés sains.

Les personnes âgées présentent toutes un déclin des processus d'activation et de mise à jour du contexte tandis que les processus du maintien du contexte sont seulement atteints chez les plus âgées des personnes âgées ou chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer. Ces résultats suggèrent qu'une détérioration des mécanismes du maintien et de la représentation du but semble signer un stade précoce du déclin cognitif dans cette maladie.

Conclusion

L'ensemble de ces résultats montre que les performances au paradigme AX-cpt sont sensibles aux effets de l'âge et permettent de mettre en évidence les différences de comportement liées à l'âge face à une tâche de contrôle cognitif et ce dans la mise en œuvre de différents types de contrôle exigés par les caractéristiques de la tâche. Les différents aspects du fonctionnement exécutif semblent être très sensibles aux effets du vieillissement. Les changements cognitifs liés à l'âge, paraissent résulter de l'interaction des changements dans l'efficacité de processus cognitifs distincts mais agissant conjointement dans le traitement de l'information. Les conclusions des recherches menées sur les différences d'efficacité des processus de contrôle, entre les populations jeunes et âgées, et basées sur un mécanisme duel de contrôle, proposent une approche plus précise et plus fine de la diminution de l'efficacité des processus de contrôle cognitif avec l'avancée en âge et nous semblent être une orientation à suivre dans l'étude du vieillissement.

Des études récentes s'attachent à prendre en compte les formes de variabilité inter- et intra-individuelle pour comprendre le fonctionnement cognitif des personnes âgées et considérer la variabilité de performance comme une caractéristique liée à l'âge permettant éventuellement de déceler des changements cognitifs le plus tôt possible (Lövdén *et al.*, 2007 ; Bielak *et al.*, 2010 ; Gamaldo *et al.*, 2012). Nous présenterons donc dans la suite de cette partie théorique les différentes formes de variabilités envisagées dans la littérature et rapporterons quelques résultats centraux sur les effets du vieillissement sur la variabilité cognitive et plus particulièrement sur les effets du vieillissement sur la variabilité intra-individuelle du contrôle cognitif.

2. Vieillessement cognitif, changement et variabilités

Introduction :

Ce travail de recherche repose sur l'idée fondamentale que l'étude de la variabilité de la performance cognitive peut permettre de mieux comprendre le fonctionnement cognitif de la personne âgée. Les différentes formes de variabilité de la performance cognitive ainsi que les relations qu'elles entretiennent avec la performance chez la personne âgée sont décrites dans ce chapitre dans le but de mettre en avant les principaux résultats qui ont motivé ce travail de recherche. Une description des formes de variabilité étudiées et de la taxonomie qui leur est associée est nécessaire à la compréhension et à l'interprétation des résultats observés dans la littérature, cette description est donc proposée dans ce chapitre.

Une des particularités d'une telle étude traitant de la variabilité de la performance cognitive est qu'elle est souvent basée sur des méthodologies spécifiques mises au point par les chercheurs pour extraire différentes formes de variabilité individuelle à des niveaux d'analyse différents. L'étude de la variabilité de la performance se situe ainsi à plusieurs niveaux. Un niveau interindividuel permet l'observation des différences entre les individus d'un même groupe, un niveau intra-individuel permet l'observation de la variabilité de la performance pour un même individu à une même tâche entre les essais ou répétée dans le temps et un niveau intra-individuel permet l'observation de la variabilité de la performance entre différents domaines de la cognition pour un même individu à un moment donné.

Une des questions majeures qui sera discutée dans cette présentation concerne l'apport de l'étude de la variabilité de la performance sur la connaissance et la prédiction de l'efficacité du fonctionnement cognitif de la personne âgée. La présentation de la variabilité en termes de caractéristique individuelle semble être une orientation fructueuse dans la recherche sur le vieillissement cognitif. La mesure de la variabilité de la performance semble constituer comme nous allons le voir un outil puissant permettant d'extraire des comportements inaccessibles à l'analyse de la performance moyenne.

Grâce à cette méthodologie, il est alors possible d'étudier la contribution des variations cognitives chez la personne âgée sur l'identification des changements liés à l'âge rencontrés par les individus et de ce fait l'observation de la variabilité de la performance pourrait contribuer au diagnostic de troubles cognitifs sous-jacents. Toutefois, la variabilité individuelle de la performance pourrait rendre compte d'un changement de comportement adaptatif aux modifications de l'environnement sans pour autant être liée à une déficience de l'état mental.

Cet objectif est ambitieux de par sa méthodologie (niveau d'analyse, mesures répétées) et a déjà motivé quelques chercheurs. Nous commencerons donc par présenter les travaux qui ont permis d'apporter des informations sur le lien entre la variabilité de la performance, le vieillissement et le statut cognitif des individus.

2.1. Différences entre individus et formes de variabilité intra-individuelle

Afin de mieux comprendre les implications théoriques de la variabilité de la performance dans le domaine du vieillissement cognitif, il est important de définir d'abord les aspects taxonomiques et méthodologiques de la variabilité individuelle. Plusieurs types de variabilité sont classiquement distingués (Nesselroade, 1991 ; Fiske & Rice, 1955 ; Shammi, Bosman & Stuss, 1998 ; West, Murphy, Armilio, Craik & Stuss 2002 ; pour une revue Hultsch, Strauss, Hunter & MacDonald, 2008).

- On peut d'abord considérer les différences entre individus mesurées à une même tâche lors d'une seule occasion. Cette forme de variabilité interindividuelle est communément désignée par le terme de diversité (Hale, Myerson, Smith & Poon, 1988, Hultsch *et al.*, 2002).
- On peut aussi s'intéresser à la variabilité de la performance d'une même personne lors de la réalisation de plusieurs tâches. Cette forme de la variabilité intra-individuelle au travers des tâches est appelée dispersion (on parle aussi parfois de différences intra-individuelles) (Hultsch *et al.*, 2002 ; Shammi, Bosman & Stuss, 1998 ; Hilborn, Strauss, Hultsch & Hunter, 2009).
- Une troisième forme de variabilité concerne les variations de performance d'un seul individu au cours des différents items d'une seule tâche ou lorsque la tâche est répétée avec des intervalles brefs. Elle est désignée par les termes de variabilité

intra-individuelle, de fluctuations à court-terme, d'oscillations, de robustesse de traitement ou d'inconsistance (Hultsch, MacDonald, Hunter, Levy-Bencheton & Strauss 2000 ; Hultsch *et al.*, 2002).

On parle enfin de changement intra-individuel quand il s'agit d'un changement systématique au cours du temps comme des processus développementaux de croissance ou de déclin.

Par ailleurs, la comparaison des conclusions des études portant sur la variabilité de la performance de la personne âgée demande une vigilance particulière sur les aspects méthodologiques. Les auteurs n'utilisent pas les mêmes indicateurs de variabilité (analyse de variance sur des moyennes d'écart type, écart type individuel à la moyenne du groupe ou à la moyenne individuelle, modèles multivariés) et utilisent parfois différemment le vocabulaire de la variabilité.

2.1.1. La variabilité interindividuelle ou diversité

La **variabilité interindividuelle** ou **diversité**, correspond aux différences de performance à une même tâche cognitive ou un même test administrés aux individus d'une même population. L'étude de la variabilité interindividuelle montre que la diversité observée est source de renseignements pour les lois générales en permettant de répondre à de nouvelles questions sur les changements dans le fonctionnement cognitif au cours du temps. En effet la littérature sur le vieillissement cognitif a déjà montré que plusieurs facteurs interagissent avec l'effet de l'âge sur les changements cognitifs. L'hypothèse de la réserve cognitive est ainsi un exemple de théorie qui tend à expliquer les différences des effets de l'âge sur les individus. L'étude de la diversité permet donc de souligner la nature de ces différences et de les expliquer par des causes communes aux différents types de profils individuels présentant des similitudes de performance et de faire des prédictions sur l'évolution des individus selon les profils de performance.

2.1.2. La variabilité intra-individuelle

La variabilité **intra-individuelle au travers des tâches** est appelée **dispersion**. La dispersion correspond à la variabilité de la performance d'un même individu à plusieurs tâches cognitives ou plusieurs sous-tests d'une batterie administrés lors de la même session d'évaluation ou lors de plusieurs sessions

séparées par un bref intervalle de temps. L'intérêt de la dispersion peut être illustré par les échelles de Wechsler, un ensemble d'épreuves à partir desquelles peuvent être conduites des analyses de profils (Kaufman, 1979). Des analyses de la dispersion à ce type de test ont par exemple permis de montrer que les variations des scores d'un sous-test à l'autre sont parfois porteuses d'informations précieuses sur certaines caractéristiques du fonctionnement cognitif des individus. La dispersion peut donc être un indicateur important dans l'étude du fonctionnement cognitif de l'individu.

Le second type de **variabilité intra-individuelle** est l'**inconsistance** ou fluctuations transitoires des performances d'un même individu (Allaire & Marsiske, 2005). L'inconsistance représente la variabilité des réponses d'un même individu lors de la résolution des items d'une même tâche. L'inconsistance réfère aux changements réversibles à relativement court terme de la performance individuelle au sein d'une tâche administrée (inter-essais) sur une seule occasion d'évaluation ou pour une même tâche à travers plusieurs occasions d'évaluation entre de courts intervalles de temps (minutes, heures, jours, semaines). L'analyse des TR est un contexte idéal pour étudier la consistance de la performance.

Le troisième type de **variabilité intra-individuelle** se réfère aux **changements** individuels plus ou moins stables de la performance au cours du temps pour une même tâche (mesures répétées dans le temps), aussi appelé changement intra-individuel à long terme : changements comportementaux plus durables, associés au développement, à l'apprentissage ou au changement (Nesselroade, 1991). Nous pouvons donc distinguer deux types de variabilité intra-individuelle, un à court terme (VIICT) et un à long terme (VIILT) qui pourraient tout deux témoigner d'un changement cognitif.

2.2. Variations inter et intra-individuelles de la performance cognitive chez la personne âgée

La variabilité intra-individuelle de la performance a fait l'objet de nombreuses études, qui suggèrent une augmentation des formes de variabilité avec l'âge, cette augmentation étant d'autant plus importante que les tâches sont complexes c'est-à-dire requièrent la mise en œuvre de processus de contrôle cognitif (West *et al.*, 2002 ; Hultsch *et al.*, 2000 ; Hultsch *et al.*, 2002 ; Williams, Hultsch, Strauss, Hunter & Tannock 2005). Les investigations dans le domaine de la variabilité ont également

permis de faire le lien entre la variabilité observée et le niveau de performance observé soit simultanément, soit quelques années plus tard (Lövdén *et al.*, 2007 ; Bielak *et al.*, 2010, Gamaldo *et al.*, 2012). De telles études nécessitent des mesures répétées auprès des participants, par exemple des évaluations répétées sur plusieurs jours voire plusieurs années. Nous décrivons certaines de ces études par la suite pour préciser notre démarche de recherche sur l'apport de la variabilité de la performance dans la compréhension du fonctionnement cognitif de la personne âgée.

2.2.1. Diversité

La diversité mesure l'hétérogénéité des performances cognitives des individus d'un même groupe. Dans l'étude du vieillissement, nous nous intéresserons plus particulièrement à la diversité des performances chez la personne âgée pour répondre à la question de l'augmentation de la diversité avec l'âge. Il semble que la diversité augmente avec l'âge (Hultsch *et al.*, 2002) et soit plus importante pour la composante fluide de l'intelligence et pour la mémoire que pour la composante cristallisée de l'intelligence (West *et al.*, 2002, Morse, 1993 ; Christensen, Mackinnon, Jorm, Henderson, Scott & Korten, 1994) et plus importante pour la vitesse de traitement de l'information et la mémoire que pour l'intelligence cristallisée (Christensen, 2001)

Par exemple Morse (1993) a examiné l'augmentation de la diversité liée à l'âge pour des mesures de TR et de la précision dans le domaine de la mémoire et de l'intelligence. Dans cette étude, la diversité était plus importante chez les adultes âgés que chez les jeunes adultes, pour les TR, la mémoire et l'intelligence fluide alors que les différences de diversité liées à l'âge n'étaient pas significatives pour l'intelligence cristallisée. Dans une recherche plus récente, Hultsch *et al.* (2002) ont étudié le lien entre la diversité et l'âge (chez des jeunes adultes, âgés de 17 à 36 ans et des adultes âgés, âgés de 54 à 94 ans) à partir de TR de quatre types de tâche (TR simple, TR choix, décision lexicale et jugement sémantique). Ils ont montré que la diversité augmentait avec l'âge dans les 4 domaines évalués, cette augmentation de la diversité en fonction de l'âge étant également observée lorsque seul le groupe de participants âgés (de 54 à 94 ans) était considéré.

De plus, il a également été montré que l'augmentation de la diversité liée à l'âge est une forme de variabilité qui pourrait diminuer pour atteindre un niveau

semblable aux groupes plus jeunes avec un minimum d'entraînement pour des tâches complexes (West *et al.*, 2002). West et collaborateurs présentent une étude de la variabilité inter et intra-individuelle de la performance (mesurée par le TR) au cours du temps pour des tâches simples et des tâches requérant du contrôle cognitif. La VII entre occasions de mesure est interprétée comme des signes de fluctuations de l'efficacité cognitive. Les conclusions des auteurs sont cohérentes avec la proposition selon laquelle le vieillissement est associé à une diminution de la stabilité du contrôle exécutif au cours du temps. L'étude réalisée par West ses collègues propose une analyse des effets de l'âge sur la capacité de mise en œuvre des fonctions de contrôle exécutif. Les auteurs ont effectué une analyse de la performance moyenne ainsi que de la variabilité de la performance d'adultes âgés comparée à celle d'adultes jeunes. Pour cette étude, les participants effectuaient une tâche d'identification de chiffres, basée sur le paradigme *n-back*. Cette tâche était répétée durant 4 jours, 1 fois par jour. La tâche présentait plusieurs conditions pour faire varier la demande de contrôle cognitif, entre autres, « réponse immédiate » et « réponse *1-back* ». La répétition de la tâche a permis d'évaluer l'évolution de la performance et de la VII de la performance sur une durée de 4 jours selon l'âge des participants. Les analyses de la performance moyenne ont montré un ralentissement lié à l'âge pour l'ensemble des mesures effectuées. Le ralentissement des réponses lié à la condition *1-back* (comparées à la condition réponse immédiate) était plus important chez les plus âgés que chez les jeunes adultes. Les TR étaient relativement stables dans la condition réponse immédiate au cours des jours de test et diminuaient dans la condition *1-back*. Les résultats étaient en faveur d'un coût cognitif lié à la condition *1-back* plus important pour les personnes âgées que pour les jeunes adultes. Le coût lié à la mise en œuvre du contrôle cognitif était également plus important lors de la première présentation de la tâche et diminuait avec les présentations, pour les deux groupes d'âge. Malgré une différence importante et significative liée à l'âge lors du premier jour de test, la différence liée à l'âge diminuait avec les répétitions de la tâche. Les auteurs ont effectué une mesure de la variabilité interindividuelle de la performance pour chaque groupe d'âge et chaque condition de tâche. Le niveau de diversité était plus important dans la condition *1-back* que dans la condition réponse immédiate (pour les sujets jeunes et les sujets âgés) et diminuait au cours des jours de test. Les personnes âgées présentaient des niveaux de diversité supérieurs à ceux des jeunes adultes dans la condition *n-back* (et pas dans la condition réponse immédiate)

et cette différence diminuait pour atteindre un niveau de différence non significatif entre les jeunes et les âgés avec la répétition de la tâche. Les auteurs retrouvaient des niveaux de VII entre les 4 jours de test supérieurs chez les personnes âgées à ceux des plus jeunes, la VII était plus importante pour les personnes âgées que pour les jeunes adultes et plus importante pour la condition *1-back* que pour la condition réponse immédiate. Ces résultats reproduisent d'une part des résultats connus sur le ralentissement cognitif, dans toutes les conditions les personnes âgées sont plus lentes que les personnes jeunes et ce ralentissement est supérieur lorsque la demande en processus de contrôle est élevée. D'autre part, le degré de variabilité est supérieur seulement dans les conditions présentant une demande de contrôle exécutif pour les personnes âgées comparées aux personnes jeunes. Un ralentissement cognitif robuste quelle que soit la condition de la tâche et une variabilité plus importante chez les personnes âgées pour les conditions associées à la mise en œuvre de contrôle cognitif évoquent des différences liées à l'âge dues à des facteurs distincts. Cette étude fournit des données qui montrent que le vieillissement est associé à une augmentation de la diversité et à une diminution de la consistance dans les conditions de tâche requérant le recrutement de processus de contrôle exécutif. La diversité est donc supérieure pour des tâches complexes que pour des tâches simples et semble diminuer au cours du temps lorsqu'il y a des évaluations répétées de la tâche (West *et al.*, 2002).

2.2.2. *Dispersion*

Plusieurs études se sont intéressées à la variation du niveau de dispersion chez la personne âgée (Christensen, Mackinnon, Korten, Jorm, Henderson & Jacomb 1999 ; Kliegel & Sliwinski, 2004 ; Hilborn *et al.*, 2009 ; Holtzer, Verghese, Wang, Hall, & Lipton, 2008).

Les études traitant de la dispersion des performances révèlent qu'elle semble être attribuée à un état cognitif normal mais elle peut aussi témoigner de changement cognitif (Kliegel & Sliwinski, 2004 ; Holtzer, *et al.*, 2008 ; Hilborn, *et al.*, 2009). Les recherches établies sur la dispersion suggèrent que la dispersion pourrait augmenter avec l'avancée en âge (Hultsch *et al.*, 2002 ; Hilborn *et al.*, 2009 ; Christensen *et al.*, 1999).

Christensen et collaborateurs (Christensen *et al.*, 1999) ont mené une étude longitudinale, auprès d'un groupe de participants âgés de plus de 70 ans, pour étudier le niveau de dispersion en relation avec l'âge, le niveau de performance et les changements du niveau de performance à travers le temps (3,5 ans entre les deux évaluations). Le niveau de dispersion était mesuré entre quatre grands domaines cognitifs (intelligence cristallisée : vocabulaire, similitude ; vitesse : temps de réaction ; mémoire : reconnaissance, rappel ; fonctionnement spatial : reproduction de figure, production d'un cube) par l'écart-type individuel des 4 scores composites. Un plus fort niveau de dispersion était associé aux plus âgés, le niveau de dispersion augmentait entre la première et la deuxième session et l'augmentation du niveau de dispersion entre les deux sessions n'était pas liée à l'âge. Un profil d'habileté cognitive présentant un niveau de dispersion plus important était associé à une plus forte détérioration des performances de la mémoire et de la vitesse.

Hilborn et collaborateurs (2009) ont étudié le lien entre l'âge et la dispersion de 304 individus âgés de 64 à 92 ans, ne présentant pas de démence. Les mesures de dispersion étaient mises en relation avec le niveau d'inconsistance, l'âge, le statut cognitif et la performance cognitive, et portaient sur neuf tests d'évaluation : de la vitesse de traitement (*Trail making test A*, *Trail making test B*, tâche de code), de raisonnement fluide (raisonnement inductif à partir de séries de lettres), de mémoire épisodique (rappel de liste de mots, rappel de codes, tâche de reconnaissance) et de mémoire sémantique (fluence verbale, vocabulaire). Deux groupes de participants avaient été créés : un groupe associé à un déclin cognitif et un groupe associé à une absence de déclin cognitif. Les participants étaient associés à un des deux groupes selon leurs scores aux sous-tests vocabulaire et cube des échelles de Wechsler (WAIS-III), qui permet l'évaluation de l'intelligence et à un test de lecture (NAART, *North American Adult Reading Test* ; Blair & Spreen, 1989) qui permet une évaluation du niveau intellectuel pré-morbide. La dispersion était calculée à partir des écarts-types individuels des neuf scores standardisés. Un niveau de dispersion fort était représenté par un écart-type individuel élevé, et un niveau de dispersion faible était représenté par un écart-type faible. Quantitativement, un plus haut niveau de dispersion était observé chez les participants les plus âgés (75-92 ans) et ceux identifiés comme étant associés à une expérience de déclin cognitif, suggérant que le niveau de dispersion peut servir d'indicateur de l'intégrité cognitive.

Lindenberger et Baltes (1997) ont obtenu des résultats contradictoires indiquant que le niveau de dispersion corrélait positivement avec la performance aux tests d'intelligence fluide et négativement avec l'âge dans un groupe de personnes âgées de 70 à 103 ans (N=516).

2.2.3. Inconsistance

Nous avons dit plus haut que l'inconsistance reflète les fluctuations intraindividuelles des performances comportementales et qu'elles sont rapides et transitoires. L'inconsistance de la performance évolue au cours de la vie et il a été montré qu'elle est associée à une forme en U entre 6 et 81 ans (Li *et al.*, 2004, 2010 ; Williams *et al.*, 2005). Une diminution de l'inconsistance est associée à une augmentation de l'âge chez les enfants et une augmentation de l'inconsistance est observée chez les adultes (par ex., Bunce, MacDonald & Hultsch, 2004 ; Hultsch, *et al.*, 2002 ; Lindenberger & von Oertzen, 2006). Cette différence est indépendante de l'entraînement, de la fatigue et des différences liées à l'âge et au niveau moyen de performance. L'augmentation de l'inconsistance de la performance avec l'avancée en âge et avec la difficulté de l'épreuve a été observée (Ludwig, Fagot, Chicherio & De Ribaupierre, 2011 ; West *et al.*, 2002) et une telle augmentation en lien avec le déclin cognitif pour les plus âgés a également été observée (Hilborn *et al.*, 2009). Hilborn et collaborateurs (2009) ont observé que les individus les plus âgés (75-92 ans) présentent une augmentation supérieure du niveau d'inconsistance pour des tâches de TR simple et n-back que les âgés plus jeunes (64-74 ans), que les individus associés à un déclin cognitif présentent également un niveau d'inconsistance supérieur que ceux associés à une absence de déclin cognitif (TR simple et n-back). L'inconsistance à la tâche n-back n'interagissait pas avec le statut cognitif et le groupe d'âge. Cependant pour la tâche de TR simple, les adultes les plus âgés associés à une expérience de déclin cognitif montraient un niveau d'inconsistance supérieur à celui des individus les plus âgés associés à une absence de déclin cognitif, et le niveau d'inconsistance ne différait pas selon le statut cognitif pour les âgés plus jeunes.

L'ampleur de l'inconsistance augmente donc de manière importante à partir environ de 70-75 ans jusqu'à un âge très avancé (MacDonald, Hultsch, & Dixon, 2003 ; Bielak *et al.*, 2010 ; Lövdén *et al.*, 2007).

Signalons enfin que plusieurs études se sont intéressées au lien entre l'augmentation de l'inconsistance et les substrats neuronaux (pour une revue, MacDonald, Li & Bäckman, 2009). Cette augmentation de l'inconsistance, communément observée chez les personnes âgées, l'est aussi dans les démences, la schizophrénie, les déficits de l'attention dans les troubles hyperactifs et les traumatismes crâniens. MacDonald et collaborateurs (2009) soulignent la difficulté d'expliquer les causes de la variabilité relative à l'âge malgré quelques investigations qui proposent des théories de dynamiques neuronales explicatives (Li, Lindenberger, & Sikström, 2001).

2.2.4. Lien entre les différentes formes de variabilité intra-individuelle

Qu'en est-il du lien entre les différentes formes de variabilité intra-individuelle ? Il semble que les mesures de dispersion et d'inconsistance sont significativement et positivement corrélées pour des tâches de TR simple (Hultsch *et al.*, 2002, Hilborn *et al.*, 2009) et pour des tâches complexes (*n-back*) (Hilborn *et al.*, 2009). Ces résultats montrent que les individus les plus variables entre les domaines cognitifs (dispersion) semblent être également les plus variables au cours des essais d'une même tâche (inconsistance). Cette relation semble varier en fonction de l'âge et du statut cognitif. La relation entre l'inconsistance à la tâche de TR simple et la dispersion varie selon le statut cognitif pour les plus âgés mais pas pour les âgés plus jeunes. Pour les plus âgés présentant une expérience de déclin, l'augmentation de la dispersion était associée à l'augmentation de l'inconsistance ce qui n'était pas le cas pour les plus âgés ne présentant pas une expérience de déclin. La relation entre le niveau d'inconsistance et de dispersion à la tâche *n-back* était supérieure pour les individus associés à un déclin cognitif et ne variait pas selon le groupe d'âge (Hilborn *et al.*, 2009). Ces résultats indiquent que chez la personne âgée, le lien entre l'inconsistance et la dispersion varie selon la difficulté de la tâche, l'âge et le statut cognitif. Lorsque la tâche est complexe, cette relation est plus importante pour les individus présentant une expérience de déclin mais ne varie pas selon l'âge. Lorsque la tâche est simple, cette relation dépend du statut cognitif pour les plus âgés seulement.

Ces conclusions indiquent que l'amplitude de la VII pourrait être une caractéristique individuelle (à la fois au cours du temps et entre les domaines

cognitifs) et pourrait témoigner du statut cognitif. Ceci suggère, d'un point de vue clinique, que ces deux indicateurs, considérés ensemble, pourraient permettre d'identifier un déclin cognitif.

2.2.5. Apports théoriques de l'étude de la variabilité dans le vieillissement

Les auteurs s'accordent sur l'idée que la variabilité de la performance doit être étudiée en tant que changement dans l'efficacité cognitive qui caractérise le vieillissement cognitif au même titre que la diminution de la performance moyenne (pour revue Hultsch *et al.*, 2008).

L'étude conjointe des deux types de variabilité, inter- et intra-individuelle, devrait apporter des informations sur le fonctionnement cognitif complémentaires à celles établies grâce au niveau de performance moyen et devrait apporter une connaissance plus précise et plus complète du fonctionnement cognitif de la personne âgée. L'objectif de ce type de recherche est d'améliorer la qualité du diagnostic des troubles cognitifs chez la personne âgée (précision et détection des premiers signes d'un déclin cognitif le plus tôt possible). Par exemple, une fluctuation excessive des performances cognitives pour un individu à travers plusieurs occasions de mesure pourrait indiquer voire prédire un déclin cognitif (Lövdén *et al.*, 2007 ; Dixon, Garrett, Lentz, MacDonald Strauss, & Hultsch, 2007; Bielak *et al.*, 2010)

Cependant certains auteurs s'accordent à penser que la VII peut témoigner d'un changement autant positif de la cognition (lié à un gain par exemple) que négatif (lié à une diminution de l'efficacité cognitive) (Allaire & Marsiske, 2005). Ces auteurs concluent que la VII adaptative (relative à l'entraînement) et mal adaptative (liée à l'inconsistance) peuvent exister au sein d'un même individu à travers le temps

Ce type d'étude nécessite un suivi dans le temps des participants avec des mesures répétées pour des tâches évaluant l'efficacité cognitive des participants dans plusieurs domaines comme la mémoire, l'attention, la perception, le raisonnement, la vitesse de traitement.

L'étude de la variabilité interindividuelle à partir de plusieurs occasions de mesures permet de différencier les individus d'un même groupe à partir des

trajectoires latentes des performances, et de spécifier la nature de ces différences d'efficacité cognitive : stables dans le temps ou ponctuelles. Elle pourrait permettre d'étudier la variabilité inter individuelle des profils de VII.

Toutefois ce type d'étude présente certaines difficultés méthodologiques et nécessite un suivi longitudinal. Les études longitudinales étendues sur plusieurs années impliquant les effets de l'âge sur la performance cognitive sont coûteuses et présentent une mortalité expérimentale relativement importante (liée à l'abandon de l'étude par les participants pour des raisons médicales ou par perte de motivation). Certains auteurs se sont intéressés au lien entre la variabilité de la performance cognitive et la sortie d'une étude de recherche longitudinale par les participants (attrition) (Bielak *et al.*, 2010). Le niveau moyen de l'inconsistance à travers le temps était aussi prédictif de l'attrition dans l'étude. Un effet significatif du groupe d'âge sur l'attrition a également été montré, le taux d'attrition était supérieur pour le groupe d'adultes très âgés (75 ans et plus) que pour le groupe d'adultes âgés (65-74).

Comme cela a été exposé plus avant, les études portant sur la variabilité de la performance et le vieillissement cognitif sont déjà nombreuses (par ex., Hultsch *et al.*, 2000 ; Hultsch *et al.*, 2002 ; Christensen, 2001 ; 2005 ; Lövdén *et al.*, 2007 ; Bielak *et al.*, 2010). Certaines de ces études ont montré que les trois types de base de la variabilité de performance, à savoir, la diversité, la dispersion et l'inconsistance, augmentaient avec l'âge (Hultsch *et al.*, 2002). D'autres recherches tendent à montrer que l'augmentation de la fluctuation de la performance cognitive pour des tâches complexes indique un déclin de la performance sous-jacent voire prédit un déclin plusieurs années plus tard. Ces fluctuations au cours du temps pourraient témoigner d'un changement cognitif sous-jacent. Par ailleurs Christensen et collaborateurs (2005) s'intéressent à la VII des TR, à des tâches de TR simple et de TR choix, chez des participants de 60 à 64 ans, en tant que marqueur de déclin (*Mild Cognitive Impairment* : MCI). Ils constatent une plus grande VII chez les patients MCI, mais qui ne contribue pas à l'identification d'un tel statut cognitif au-delà du TR moyen.

Les recherches sont alors de plus en plus orientées vers l'étude d'indicateurs qui permettraient de déceler les premiers signes d'apparition de troubles cognitifs chez les personnes âgées, c'est-à-dire de plus en plus précocement. La variabilité de l'efficacité cognitive pourrait constituer un tel indicateur. Il a déjà été montré que la variabilité de la performance à des tâches cognitives s'apparente à un changement

(associé ou non au développement) de l'état cognitif durable dans le temps (Nesselroade, 1991). De plus, la VII de la performance à des tâches cognitives complexes pourrait prédire une perte cognitive plusieurs années plus tard. Et ce pouvoir prédictif pourrait s'avérer être plus puissant que le niveau moyen de la performance à des tâches cognitives complexes (Bielak *et al.*, 2010).

2.2.5.1. *La VII comme caractéristique stable de l'individu*

Concernant la question de l'idiosyncrasie de la VII, l'étude de Ludwig et collaborateurs (2011) a également apporté des éléments de réponse concernant l'inconsistance associée à une caractéristique personnelle de l'individu. Le degré d'inconsistance a été mesuré pour plusieurs tâches pour un même individu. Si un individu montre des degrés d'inconsistance semblables pour plusieurs tâches cognitives, l'inconsistance peut alors être associée à une caractéristique personnelle de l'individu. Pour tester cette hypothèse les auteurs ont mesuré les corrélations inter-épreuves des indices de variabilité (écarts-types individuels : ET_i ; et coefficients de variation individuels : CV_i). L'étude menée par ces auteurs est la *Geneva Variability Study* (GVS) et a pour objectif d'estimer la différence d'âge dans l'amplitude de l'inconsistance. Elle porte sur une population allant de 9 à 89 ans. Les mesures d'inconsistance et de la performance moyenne étaient réalisées pour plusieurs épreuves informatisées permettant ainsi des analyses à partir des TR enregistrés pour une population d'adultes jeunes (19-33 ans) et d'adultes âgés (60-89 ans). Les résultats des analyses sur les performances moyennes montraient un effet de l'âge significatif dans toutes les épreuves, avec un ralentissement de la vitesse de traitement pour les plus âgés. Les effets de l'âge sur la variabilité intra-individuelle (ET_i) étaient significatifs et montraient une inconsistance supérieure pour les plus âgés. Plus particulièrement, la VII semblait augmenter avec la complexité de l'épreuve. Toutefois, les analyses de la VII par le coefficient de variation (CV_i) rapportent des résultats moins univoques : l'effet de l'âge apparaissait seulement entre les jeunes adultes et les très âgés (+ de 70 ans), les participants paraissaient moins variables dans des conditions complexes comparées à des conditions simples pour certaines tâches. L'analyse des corrélations entre les ET_i mesurés pour différentes épreuves, montrait que les corrélations étaient toutes significatives. Ces résultats ont permis aux auteurs de montrer que les individus les plus variables dans

une épreuve étaient également les plus variables dans d'autres épreuves. Les analyses corrélationnelles effectuées sur les CVi montraient des résultats différents : les corrélations étaient significatives pour plus que 40% des épreuves. Ces résultats suggèrent tout de même que l'inconsistance est une caractéristique stable de l'individu et confirme l'hypothèse des auteurs. Ces résultats soulignent l'importance d'étudier la VII de la performance comme un indicateur du fonctionnement cognitif de l'individu. Une autre question soulevée par cette étude est la validité des indices de variabilité. Des résultats contradictoires peuvent être observés pour la mesure de l'inconsistance si l'écart-type individuel est utilisé comme indicateur de l'inconsistance ou si le coefficient de variation individuel est utilisé comme tel indicateur. Ludwig et collaborateurs (2011) soulignent également l'intérêt de développer des indicateurs pertinents de VII.

2.2.5.2. *Lien entre niveau de performance cognitive et variabilité de performance cognitive*

Certains auteurs ont déjà montré que le niveau d'inconsistance diminue avec les répétitions de la tâche (Hultsch *et al.*, 2000 ; West *et al.*, 2002) et augmente avec l'âge et avec la complexité de la tâche (West *et al.*, 2002 ; Ludwig *et al.*, 2011). Ces conclusions suggèrent que plus la tâche est « facile » à réaliser ou familière, plus le niveau d'inconsistance sera faible. La question du lien entre le niveau de performance et le niveau d'inconsistance de la performance se pose. La VII de la performance (inconsistance et dispersion) serait un bon indicateur du fonctionnement cognitif et du vieillissement indépendamment du niveau de performance (Hultsch *et al.*, 2002). Le niveau de performance et les changements du niveau d'inconsistance seraient liés dans la population âgée (Ram, Stollery, Rabbit & Nesselroade, 2005).

L'inconsistance dans la réalisation de tâches complexes semble être un indicateur du niveau de performance plus que celle observée dans la réalisation des tâches simples. Ce lien a été montré dans des études réalisées auprès des personnes âgées. Par exemple, dans l'étude de Hilborn et collaborateurs (2009), il a été montré que : i) la dispersion explique significativement le taux de variation de la performance (31,2%) ; ii) l'inconsistance explique aussi le taux de variation de la performance (9,4% pour une tâche simple de TR, 36,2% pour une tâche complexe de type *n-back*).

La mesure de l'inconsistance a été réalisée pour évaluer le changement du niveau d'inconsistance à travers les semaines et pour montrer comment ce changement était lié aux différences individuelles d'âge et d'intelligence (Ram *et al.*, 2005). Dans cette étude, 91 participants âgés de 52 à 79 ans ont été évalués toutes les semaines durant 36 semaines consécutives avec des tâches de rapidité de mémoire (reconnaissance de lettres). L'inconsistance de performance semblait être séparée du niveau de performance observé à cette tâche et diminuait de manière exponentielle avec l'entraînement. Toutefois, la variabilité de l'inconsistance d'une semaine à l'autre était plus prononcée pour les individus présentant un faible score d'intelligence fluide.

La VII de la performance serait également reliée aux performances mnésiques (Papenberg, Bäckman, Chicherio, Nagel, Heekeren, Lindenberger & Li, 2011). Dans leur étude, Papenberg et collaborateurs (2011) ont montré qu'une VII des TR importante était reliée à une quantité d'oubli plus importante et à une dédifférenciation des fonctions de mémoire. Précisément, les groupes constitués pour cette étude avaient pour caractéristique l'ampleur de la VII des TR à une tâche de vitesse perceptuelle. Pour le groupe « haute – variabilité », la quantité des oublis étaient plus importante pour des intervalles de rétention d'une semaine que chez les individus appartenant au groupe « faible-variabilité ». Les fonctions de mémoire épisodique et de MDT étaient fortement corrélées et de manière plus importante pour le groupe « haute-variabilité » ($r=.63$) que pour le groupe « faible-variabilité » ($r=.25$). Les auteurs ont donc pu conclure à une dédifférenciation des fonctions de la mémoire comme étant associée à une haute VII des TR.

La variabilité de performance a été étudiée dans la population âgée saine pour comprendre le fonctionnement cognitif au cours du vieillissement normal et il a été montré que la variabilité de la performance augmente avec l'avancée en âge et plus particulièrement pour des processus mis en jeu dans des tâches complexes (contrôle exécutif). D'autres recherches s'appuyant sur ces conclusions ont testé l'hypothèse selon laquelle la variabilité de performance pourrait être associée à des troubles cognitifs de manière plus forte que le niveau moyen de performance (Dixon *et al.*, 2007 ; Bielak *et al.*, 2010 ; MacDonald, Hultsch, & Dixon, 2008 ; Christensen *et al.*, 2005; Gamaldo *et al.*, 2012).

2.2.5.3. *La variabilité comme indicateur d'un trouble cognitif*

Des mesures de la mémoire, du raisonnement abstrait, des habiletés visuo-spatiales, des fonctions exécutives, du langage, de l'attention, et du statut mental global montrent qu'une diminution de ces capacités cognitives est souvent associée au risque de développer une démence en particulier la maladie d'Alzheimer (cf. critères du DSM-IV ; *American Psychiatric Association*, 1994).

La question qui se pose alors est la suivante : La variabilité de la performance cognitive (fluctuation excessive par exemple) peut-elle être utilisée comme un outil de diagnostic précoce des troubles cognitifs chez la personne âgée apportant un gain substantiel à la prédiction effectuée à partir du niveau de performance voire plus puissant que le niveau de performance?

Les changements en termes de variabilité pourraient s'apparenter à des phases adaptatives lors du développement dans les populations jeunes puis à l'âge adulte, mais également à une perte de certaines capacités cognitives liée aux changements physiologiques associés à l'âge. La connaissance de l'évolution du fonctionnement cognitif humain s'établit également par l'étude des différences individuelles observées chez des adultes jeunes, les adultes âgés sains, et les adultes âgés atteints de troubles dans la mise en œuvre des processus cognitifs (associés aux démences neuro-dégénératives liées à l'âge). La variabilité de la performance est alors étudiée pour des tâches mnésiques, attentionnelles et de vitesse de traitement de l'information plus particulièrement. Cette mesure de la variabilité n'est généralement pas prise en compte dans les évaluations des signes cliniques dans le cadre du diagnostic de troubles cognitifs. L'intérêt d'étudier la variabilité de la performance en fonction de l'âge et des pathologies associées a déjà été démontré par quelques études.

La VII de la rapidité de réponse serait un indicateur de troubles cognitifs chez la personne âgée plus pertinent que la vitesse moyenne de performance (Strauss, Bielak, Bunce, Hunter & Hultsch, 2007). La VII de la rapidité de réponse au cours des essais de plusieurs tâches de temps de réaction entre lesquelles la demande cognitive variait, a été évaluée dans une population de personnes âgées vivant en communauté, âgées de 64 à 92 ans (Strauss *et al.*, 2007). Les auteurs ont utilisé un nouveau cadre prenant en compte deux profils d'atteinte cognitive (simple domaine

affecté vs multiple domaines affectés) et deux types de troubles cognitifs (mnésique et non mnésique). Les personnes qui présentaient des troubles dans plusieurs domaines de la cognition montraient une VII supérieure à celles qui présentaient un trouble dans un domaine unique de la cognition. Pour les participants qui présentaient des troubles dans deux ou plusieurs domaines (excepté la mémoire), l'augmentation de la VII était plus évidente pour des tâches requérant une forte demande cognitive, lorsque l'individu devait manipuler des informations maintenues brièvement en mémoire, alterner entre des *sets* cognitifs ou inhiber une réponse automatique. Enfin, la différenciation entre les groupes était mieux accomplie lorsque la VII était considérée, que lorsque la vitesse moyenne de performance était considérée.

A travers leur recherche, des auteurs ont montré que la fluctuation de la performance à un niveau intra-individuel peut différencier des personnes cognitivement saines de personnes atteintes de démence (Burton, Strauss, Hultsch, Moll & Hunter, 2006 ; Hultsch *et al.*, 2000 ; MacDonald, li, & Bäckman, 2009).

D'autres études portaient également sur les populations présentant les signes cliniques de troubles cognitifs légers mais sans signe de démence, le diagnostic porté pour ce type de population étant souvent CIND (*cognitive impairment no-dementia*) ou MCI (*Mild Cognitive Impairment*) (Bielak, *et al.*, 2010 ; Dixon *et al.*, 2007). Ces troubles posent la question de la possibilité d'évoluer vers une démence liée à l'âge. Le concept de MCI (voir Petersen, Smith, Waring, Ivnik, Tangalos & Kokmen, 1999) intéresse les chercheurs en psychologie du vieillissement car il existe une question de recherche majeure associée à ce concept : le diagnostic de MCI annonce-t-il une démence ? Faut-il considérer le stade MCI comme un signe précoce de la démence de type Alzheimer ? (Petersen & Bennet 2005). L'étude de la variabilité a donc porté également sur cette population qui présente des troubles cognitifs légers mais qui ne présente pas les signes nécessaires au diagnostic de la démence.

Quelques études offrent une perspective sur la possibilité de diagnostiquer un déclin cognitif à partir de la vitesse de traitement et de l'inconsistance. L'étude menée par Dixon et collaborateurs (2007) portait sur l'inconsistance et le niveau moyen de la performance comme indicateurs de troubles cognitifs. L'intérêt de cette étude était de mettre en évidence les relations qui existent entre ces deux indicateurs et les changements liés au vieillissement normal et pathologique. Leur étude portait

plus particulièrement sur la différence entre deux groupes d'âge (64-73 et 74-90 ans et +) et sur trois statuts cognitifs différents allant de la personne saine sans trouble cognitif à la présence de trouble cognitif avéré (personnes sans trouble, avec trouble léger, et troubles modérés). Les deux indicateurs, niveau de performance et inconsistance distinguaient les deux groupes d'âges et les personnes saines des personnes présentant une atteinte cognitive légère avec une tendance supérieure pour l'inconsistance à prédire l'appartenance aux groupes de participants.

Les analyses portaient sur plusieurs tâches cognitives. L'analyse du niveau moyen de performance individuel était effectuée à partir des TR moyens individuels et la VII (inconsistance) par les écart-types individuels des TR au cours des essais d'une tâche de TR. Pour ce faire, une batterie de test a été administrée aux participants (tâche simple de TR, tâche de TR choix, tâche de décision lexicale et tâche de décision sémantique). L'analyse du niveau moyen individuel de performance montrait un effet global de l'âge (groupe âgé : 64-73 et très âgé : 74-95 ans) et un effet global du statut cognitif (sans trouble cognitif : NCI et troubles cognitifs légers : MCI) sur les TR moyens. Il y avait un effet de l'âge sur toutes les tâches de TR, et le groupe très âgé était plus inconsistant que le groupe âgé. Le statut cognitif avait un effet sur l'inconsistance seulement pour trois des quatre tâches de TR, le groupe MCI montrait un niveau d'inconsistance supérieur à celui du groupe NCI. D'autres analyses (régression logistique) ont permis aux auteurs de tester le pouvoir prédictif du niveau moyen de performance et de l'inconsistance de l'appartenance au groupe de statut cognitif (avec ou sans trouble). Les analyses permettaient d'évaluer si le pouvoir de l'inconsistance était plus fort que celui du niveau moyen de la performance. L'inconsistance présentait un pouvoir prédictif en plus du niveau moyen sur trois tâches de TR. Pour les quatre tâches de TR le niveau moyen était un prédictif significatif. Deux modèles ont été testés, un avec seulement le niveau de performance moyen comme prédictif, et, un second avec le niveau de performance moyen et le niveau d'inconsistance comme prédictifs. Le niveau moyen de performance continuait de jouer un rôle important même quand l'inconsistance était incluse dans le modèle. L'inconsistance différenciait les groupes d'âge et les statuts cognitifs.

Les auteurs ont mené une seconde étude dans laquelle ils ont évalué la fluctuation de la performance entre les semaines. Pour cette seconde étude, trois

groupes de statut cognitif étaient considérés (NIC, MCI-mild et MCI-moderate). Les participants réalisaient trois tâches de TR (TR simple, TR choix et 1-back) sur cinq occasions de mesure différentes espacées de quinze jours. Les analyses de cette seconde étude menées par les auteurs ont répliqué les résultats de la précédente. Les TRs moyens à la tâche n-back différencient bien les trois statuts cognitifs (NIC, MCI-mild et MCI-moderate). Les mesures de l'inconsistance révélaient des interactions entre les groupes de statut cognitif, les occasions de mesure et les groupes d'âge pour la tâche n-back seulement. Les MCI-moderate très âgés présentaient le niveau d'inconsistance le plus élevé, ensuite les très âgés MCI-mild, puis les très âgés NIC, puis les âgés MCI-moderate puis les âgés MCI-mild équivalent avec les âgés NIC. Les résultats ont montré que les participants devenaient tous plus consistants avec la répétition des occasions de mesure. Le plus gros gain en inconsistance apparaissait entre les occasions 1 et 2 et plus particulièrement pour les groupes les plus vulnérables (MCI-moderate très âgés). Les auteurs ont donc pu conclure que les deux indicateurs de vitesse, le niveau moyen et l'inconsistance permettaient de différencier le vieillissement normal d'un vieillissement pathologique, ces indicateurs différencient également les plus âgés (75 ans et plus).

2.2.5.4. *Conséquence d'une variabilité élevée survenant plusieurs années plus tard*

Certains auteurs se sont intéressés au pouvoir prédictif de l'inconsistance de la performance à des tâches relativement difficiles pour prédire un changement au sein du fonctionnement cognitif quelques années plus tard (Bielak *et al.*, 2010). Plus précisément, l'objectif de l'étude de Bielak et collaborateurs (2010) était d'évaluer si un changement des capacités cognitives peut être prédit par la VII des TR mesurée cinq années avant l'apparition des modifications cognitives pour ensuite comparer ces résultats aux analyses qui utilisent le niveau moyen de performance comme prédicteur des troubles cognitifs. Les auteurs insistent sur trois questions de recherche pour chacun des deux résultats obtenus, à savoir, le changement du statut cognitif et l'attrition (perte d'individus de l'échantillon au cours du temps ou mort expérimentale). Les auteurs s'attendent à ce que l'inconsistance différencie significativement les individus a) qui restent classés dans le CIND (classification :

cognitive impairment no dementia ou classification du trouble cognitif sans démence), deviennent CIND au cours du temps, fluctuent dans la classification de leur statut, ou maintiennent une classification intacte, et b) qui restent dans l'étude de ceux qui la quittent. Dans chaque cas, ils s'attendaient à ce que les individus qui présentent un changement "mal adaptatif" c'est à dire changement dans le CIND ou abandon de l'étude montrent une plus grande inconsistance des réponses. La question se pose de savoir si le pouvoir prédictif de l'inconsistance mesurée à partir de tâches complexes est supérieur à celui de l'inconsistance mesurée à partir de tâches simples.

Pour cette étude, 230 personnes âgées de 64 à 92 ans, présentant un score au Mini Mental State Examination (MMSE) supérieur à 24 sur 30, ont été évaluées par une batterie de tests à l'entrée dans l'étude. L'évaluation a été répétée 3 fois annuellement, pour obtenir 4 vagues d'évaluations. La 5^{ème} vague était un simple entretien téléphonique. La 6^{ème} vague a nécessité deux groupes pour lesquels seules les tâches les plus pertinentes ont été réadministrées. Les données des vagues 1, 3, 4 et 6 ont été utilisées pour construire les groupes de statuts cognitifs. La base de l'inconsistance et le niveau moyen de performance ont été calculés à partir de la première vague. L'inconsistance et le niveau moyen des vagues 2, 3 et 4 ont été utilisés pour effectuer l'analyse de l'attrition (mort expérimentale).

Les résultats sur le changement du statut cognitif ont été établis à partir des variations dans la classification du statut cognitif des participants sur une durée de 5 ans. Deux groupes ont été constitués sur la base des résultats. Le statut cognitif était d'abord établi pour chaque vague de tests par la performance des participants à 5 tests évaluant différentes capacités des domaines cognitifs: vitesse de perception, raisonnement inductif, mémoire épisodique, fluence verbale et vocabulaire. Ces tâches étaient administrées seulement une fois par vague de tests. Les participants pouvaient être attribués à deux groupes différents selon leur variation dans le CIND. L'ampleur de la fluctuation des participants au sein du CIND était mesurée à partir de la valeur de l'écart type (ET).

Trois classements étaient possibles :

- Si l'ET était supérieur à 1,5 en dessous de la moyenne du groupe d'âge et du niveau d'éducation correspondant pour une seule tâche cognitive, le participant présentait des caractéristiques correspondant aux critères du

"CIND-single". Ce critère de 1,5 ET est largement reconnu dans la littérature et utilisé en clinique (Peterson, 1999).

- Ensuite, les participants qui présentaient un score supérieur à **1,0** ET en dessous de la norme de l'échantillon pour deux ou plusieurs tâches cognitives rentraient dans les critères pour "CIND-multiple".
- Enfin, tous les participants restant ne présentant pas les "critères CIND" (CIND-single et CIND-multiple) étaient classés cognitivement intacts (groupe intact).

La classification était complétée pour chaque vague d'évaluation. Pour la suite des analyses ayant pour objectif de détecter les changements dans la classification au cours du temps, les deux groupes (CIND-single et CIND-multiple) ont été réunis afin d'obtenir un seul groupe CIND.

Le changement du statut cognitif a été évalué à partir des vagues d'évaluation 1, 3, 4 et 6. Quatre sous-groupes d'individus ont été constitués :

- Premièrement, les individus consistants dans leurs habilités cognitives qui présentaient des scores constamment intacts (stables intacts) et ceux qui montraient de manière consistantes des habilités cognitives pauvres comparées à leurs pairs (Stable CIND)

- Deuxièmement, les personnes qui étaient inconsistantes dans le classement, et fluctuaient dans la classification entre ces deux extrêmes (les participants qui changeaient de classification à travers les vagues d'évaluation (fluctuants) et ceux qui devenaient CIND au cours du temps, et restaient CIND (déclin stable).

Le calcul de la perte nécessitait que les participants restent dans l'étude et complètent la vague 6.

Les amplitudes de la VII et de la moyenne individuelle (Mi) ont été calculées à partir des latences des TR pour des tâches cognitives présentant plusieurs essais ("*finger tapping*", "*four-choice reaction time*" (CRT), "*four-choice reaction time I-back*" (BRT), "*shape, color, et task switching*". Ces tâches étaient administrées 5 fois par vague de tests (1 à 4), séparées environ de deux semaines. L'inconsistance a été calculée à partir des ET intra-individuels (ETi) entre les essais, pour chaque TR moyen individuel.

Les auteurs ont montré que l'inconsistance (vague 1) distinguait significativement les individus qui restaient ou transitaient dans la classification CIND pendant les 5 années de l'étude et ceux qui étaient constamment intacts (stable intact vs stable CIND). Le niveau moyen de l'inconsistance à travers le temps était aussi prédicteur de l'attrition dans l'étude. Un effet significatif du groupe d'âge sur l'attrition a été montré, un taux d'attrition supérieur de 87% pour le groupe d'adultes très âgés (75 ans et plus) à celui du groupe d'adultes âgés (65-74). Les résultats des auteurs montrent ainsi que la VII peut être un outil valable pour prédire un stade pré clinique de démence, le statut CIND étant un risque pour présenter une démence ultérieurement. Pour les deux résultats, une inconsistance plus importante était associée à une plus grande probabilité d'être dans un groupe mal-adapté 5 années plus tard. L'inconsistance basée sur des tâches cognitives modérément complexes apparaissait être particulièrement sensible aux changements longitudinaux (déclin des capacités cognitives et attrition). Le niveau moyen de réponse était un prédicteur du changement comparable dans beaucoup de cas, mais les individus présentaient un risque plus important d'être dans un groupe mal-adapté s'ils étaient plus inconsistants que s'ils étaient plus lents pour répondre. Consistants avec leurs prédictions, les résultats ont permis aux auteurs de conclure que l'amplitude de l'inconsistance distinguait les participants qui présenteraient un déficit 5 années plus tard.

Par ailleurs, Gamaldo et collaborateurs (2012) ont proposé une étude visant à identifier la fluctuation de la performance comme un signe précoce du déclin cognitif futur. Un échantillon a été constitué de participants âgés de 50 à 87 ans. Au sein de cet échantillon, 135 participants cognitivement intacts étaient comparés à 135 participants atteints de démence. Les auteurs ont étudié la variabilité de la performance intra-individuelle entre différentes occasions de mesure. Une batterie de tests a été administrée tous les ans ou tous les deux ans pour évaluer une large variété de capacités cognitives. La VII a été estimée à travers des modèles multi-niveaux (estimation de l'ampleur moyenne de déviation de la performance individuelle au cours du temps (année) sur une variété de mesure) pour explorer la différence de cette VII estimée entre les groupes. Les conclusions indiquent que la variabilité de performance est plus importante quelques années avant l'apparition des premiers troubles pour les personnes atteintes de troubles cognitifs que pour les personnes cognitivement intactes pour des évaluations de l'attention, du langage, des fonctions

exécutives, de la mémoire sémantique. Les conclusions de cette étude permettent d'envisager la variabilité de la performance comme permettant d'identifier des signes extrêmement précoces de déclin cognitif.

2.3.Principaux résultats sur l'étude de la variabilité dans le vieillissement

Les conclusions des études sur la variabilité de la performance chez la personne âgée indiquent que les 3 formes de variabilité (diversité, dispersion et inconsistance) augmentent avec l'avancée en âge. Cette augmentation serait supérieure lorsque la situation requiert des processus complexes (contrôle cognitif) et à des âges avancés. Toutefois certains auteurs ont montré des résultats contradictoires avec un niveau de dispersion inférieure chez les plus âgés en accord avec une hypothèse de dédifférenciation des capacités cognitives. L'augmentation de la variabilité apparaît liée au statut cognitif avec une augmentation du niveau de variabilité associée à une diminution de l'efficacité cognitive. L'augmentation du niveau de variabilité intra-individuel précéderait également l'apparition de troubles cognitifs et de ce fait pourrait être impliquée dans le diagnostic de troubles cognitifs associés à un vieillissement pathologique.

L'examen des différentes études portant sur la variabilité de la performance a montré que la variabilité pouvait être étudiée à partir des TR pour un même individu entre les essais d'une même tâche et d'une tâche à l'autre entre deux occasions de mesure (inconsistance de la performance intra-tâche et inter-tâche). Toutefois, il faut noter que la méthodologie de l'étude de la variabilité varie d'une étude à l'autre aussi bien d'un point de vue conceptuel que d'un point de vue statistique, ce qui rend difficile la comparaison entre les études.

L'ensemble de ces conclusions indique que la diversité augmente avec l'âge et plus particulièrement pour la mémoire, l'intelligence fluide, la vitesse et pour des tâches complexes, que pour l'intelligence cristallisée ou pour des tâches simples (Hultsch *et al.*, 2002 ; Morse, 1993 ; Christensen *et al.*, 2001 ; West *et al.*, 2002). Par ailleurs le niveau de diversité à des tâches complexes semble être une caractéristique moins stable que la VII et pourrait atteindre un niveau semblable à celui des individus jeunes après un minimum d'entraînement (West *et al.*, 2002).

Concernant l'étude de la VII chez la personne âgée, les études ont montré que la dispersion augmente avec l'avancée en âge (Hultsch *et al.*, 2002 ; Hilborn *et al.*, 2009) et qu'un niveau de dispersion élevé peut témoigner de l'intégrité cognitive et être apparenté à un déclin cognitif (Christensen *et al.*, 1999 ; Hilborn *et al.*, 2009). De plus l'étude conjointe des deux types de VII, entre les domaines cognitifs (dispersion) ou entre les essais d'une même tâche (inconsistance) pourrait également permettre d'évaluer le statut cognitif. Cependant il a été montré que le niveau de dispersion pouvait être associé à une augmentation des scores aux tests d'intelligence fluide et diminuait avec l'avancée en âge, (Lindenberger *et al.*, 1997). Ce qui suggère que le niveau de dispersion peut témoigner à la fois d'un déclin cognitif et à la fois être associé à une augmentation de la performance dans certains domaines.

Plusieurs études s'accordent sur l'augmentation de l'inconsistance avec l'avancée en âge (Williams *et al.*, 2005 ; Bielak *et al.*, 2010 ; Lövdén *et al.*, 2007 ; MacDonald *et al.*, 2003) et avec la difficulté de l'épreuve (Ludwig *et al.*, 2011 ; West *et al.*, 2002) et une telle augmentation en lien avec le déclin cognitif pour les plus âgés a également été observée (Hilborn *et al.*, 2009). Les résultats suggèrent également que l'inconsistance est une caractéristique stable de l'individu (Ludwig *et al.*, 2011). L'inconsistance des TR semble donc être une caractéristique du comportement à ne pas négliger lorsqu'il s'agit d'expliquer les différences observées entre les individus. De plus, l'inconsistance explique aussi le taux de variation de performance, et de manière plus forte lorsqu'il s'agit de l'inconsistance à une tâche complexe (Hilborn *et al.*, 2009). L'augmentation de l'inconsistance des TR semble être associée à la diminution de la mémoire et à une dédifférenciation des fonctions de la mémoire (Papenberg *et al.*, 2011).

Enfin la VII de la performance cognitive serait un bon marqueur d'un stade préclinique de la maladie d'Alzheimer (Christensen *et al.*, 2005) et permettrait de prévoir un déclin cognitif plusieurs années avant son apparition (Lövdén *et al.*, 2007 ; Bielak *et al.*, 2010 ; Gamaldo *et al.*, 2012). Les deux indicateurs, niveau de performance et inconsistance permettent de distinguer les personnes saines des personnes présentant une atteinte cognitive légère avec semble-t-il une tendance supérieure pour l'inconsistance (Dixon *et al.*, 2007).

3. Problématique de la thèse : l'étude à différents niveaux d'observation de la variabilité intra-individuelle (VII) de la performance des personnes âgées à une tâche de contrôle cognitif.

Malgré certains résultats contradictoires, la majorité des conclusions indiquent que les niveaux des trois formes de variabilité de la performance à des évaluations cognitives augmentent avec l'avancée en âge (diversité, dispersion et inconsistance), et qu'ils permettent d'expliquer les différences de statut cognitif entre les individus.

Nous proposons dans cette étude de poursuivre les investigations sur la variabilité de la performance chez la personne âgée en relation avec la performance moyenne et le niveau d'efficacité. Nous étudierons l'inconsistance de la performance à une tâche de contrôle cognitif, le paradigme AX-cpt. Rappelons que ce paradigme permet l'évaluation de processus distincts de contrôle et qu'il a déjà été montré que l'efficacité de ces processus était affectée par l'âge (Braver *et al.*, 2001 ; Braver & Barch, 2002 ; Braver *et al.*, 2005 ; Paxton *et al.*, 2006). Nous proposons donc d'étudier les relations qu'entretient l'inconsistance avec la performance moyenne dans les différentes conditions de la tâche associées à une variation de la demande de contrôle cognitif.

Nous nous proposons ensuite d'étudier l'évolution de la performance à la tâche AX-cpt sur une période de plusieurs mois à l'aide de mesures répétées de la tâche AX-cpt. Nous étudierons l'effet du temps et des répétitions de la tâche sur l'inconsistance de la performance. L'efficacité cognitive des participants sera évaluée à l'aide d'une batterie de tests puis mise en relation avec la VII de la performance. Nous nous proposons également d'étudier l'évolution différentielle au cours du temps de la performance moyenne et de la VII de la performance en fonction du niveau initial d'efficacité cognitive. Par ailleurs l'évaluation de l'efficacité cognitive par plusieurs tests cognitifs permettra également l'étude de la dispersion. Nous pourrions ainsi notamment étudier le lien entre la dispersion et la VII de la performance mesurée à deux niveaux d'observation : entre items de la tâche AX-cpt et entre occasions de mesure. Enfin plusieurs indicateurs de la VII intra-tâche

seront exploités. Les profils de performances individuelles seront analysés pour étudier la VII en termes de changements d'états latents. L'ensemble de ces résultats permettra d'établir les relations entre l'efficacité cognitive, la dispersion, l'inconsistance cognitive et la variabilité de comportement sous-jacente à la résolution de la tâche. L'étude de la variabilité d'états latents est assez novatrice dans l'étude de la variabilité de la performance chez la personne âgée et devrait apporter des éléments permettant de compléter le tableau déjà dressé sur l'étude de la variabilité individuelle de la performance dans cette population.

Partie II : Partie empirique

Etude 1

1. Introduction

Cette première étude s'intéresse à la performance de personnes âgées dans une version du paradigme AX-cpt dans laquelle varient les demandes en contrôle cognitif. Compte tenu des aspects théoriques précédemment discutés, nous nous intéresserons : i) aux effets des manipulations expérimentales sur la performance moyenne (précision et TR) et sur les fluctuations intra-individuelles entre essais des réponses ; ii) aux relations entre moyenne et inconsistance des réponses (précision et TR) dans les différentes conditions de la tâche.

L'étude dont nous présentons les résultats ci-après repose sur l'idée que les variations en coût cognitif induites par les manipulations expérimentales ont une influence sur la performance moyenne (précision et TR) et les fluctuations intra-individuelles entre essais des réponses. S'agissant des TR, on sait qu'il existe en général une relation entre le TR moyen et les fluctuations intra-individuelles du TR durant la tâche, le ralentissement de la performance s'accompagnant en général d'un accroissement de sa variabilité (par ex., Nesselroade & Salthouse, 2004; Shammi, Bosman, & Stuss, 1998). Baird, Le et Lucas (2006) ont par exemple montré que si la distribution des TR est dissymétrique et que les individus dont les TR moyens sont les plus extrêmes sont aussi les moins variables en raison d'effets plancher et plafond, la corrélation observée entre moyenne et variabilité des TR est artificielle. L'effet confondant de la moyenne sur la variabilité doit donc être contrôlé en employant des méthodes qui reposent sur l'hypothèse d'invariance linéaire entre moyenne et inconsistance de la performance (par ex., Gerstorff, Siedlecki, Tucker-Drob, & Salthouse, 2009 ; Hultsch *et al.*, 2008 ; Jahng, Wood, & Trull, 2008 ; Wagenmakers, & Brown, 2007) ou qui considèrent que cette hypothèse n'est pas respectée et cherchent à modéliser cette relation (par ex., Schmiedek, Lövdén, & Lindenberger, 2009 ; Huxhold, Schmiedek, Smith, & Lindenberger, 2011). Plus largement, la question fondamentale que nous abordons dans ce travail est celle de savoir si l'inconsistance observée des TR apporte « quelque chose de plus » par rapport à l'inconsistance prédite par l'augmentation des TR. Ce n'est en effet que dans ce cas que l'augmentation liée à l'âge de l'inconsistance des TR, peut permettre, en plus de ce que nous apprend l'augmentation associée à l'âge des TR, de mieux

comprendre l'impact du vieillissement sur l'efficacité des processus de contrôle cognitif chez la personne âgée.

En résumé, l'objectif de cette étude est d'évaluer les effets des conditions expérimentales du paradigme AX-cpt sur la performance moyenne et sur différentes formes de variabilité intra-individuelle de la performance d'un groupe de participants âgés. Notre hypothèse générale est que l'âge s'accompagne d'une moindre efficacité, tant au niveau de la performance moyenne qu'au niveau de la variabilité intra-individuelle de celle-ci, des processus de contrôle cognitif en raison d'un déclin associé à l'âge des mécanismes de traitement du contexte (Braver *et al.*, 2001 ; Braver & Barch., 2002 ; Braver *et al.*, 2005 ; Paxton *et al.*, 2006).

2. Hypothèses

Nous nous proposons d'évaluer l'effet des différents biais d'inhibition et d'attente, introduits dans le paradigme AX-cpt, sur la performance individuelle et sur les fluctuations, d'un essai à l'autre, de la performance des participants de cette étude.

Le niveau de contrôle et la qualité de l'encodage sont manipulés de la façon suivante :

- Manipulation du niveau et du type de contrôle :

La difficulté liée aux conditions requérant la mise en œuvre de processus de contrôle cognitif à savoir la mise en œuvre de contrôle proactif (biais d'attente) et réactif (biais d'inhibition) (figure 11) devrait se traduire par une diminution de la performance et par une augmentation de la VII de la performance en comparaison des essais où ces processus de contrôle sont moins sollicités.

- Manipulation de la qualité de l'encodage :

Lorsque l'information à encoder apparaît pendant un laps de temps plus court (temps de présentation de l'information plus ou moins long), la performance devrait être modifiée différemment pour les situations de contrôle réactif et proactif, si l'information n'a pas été encodée de manière suffisante. Rappelons que d'après le modèle de Braver, lorsque l'encodage de la lettre signal est intact, la performance aux essais AY (contrôle proactif) est diminuée tandis que celle aux essais BX (contrôle réactif) est augmentée (Braver *et al.* 2001).

En résumé, nous faisons l'hypothèse que dans des conditions exigeantes en contrôle cognitif (biais d'inhibition, biais d'attente) c'est-à-dire lorsqu'il s'agit, face à l'interférence, de maintenir active en mémoire de travail l'information pertinente, les performances des participants seront de moins bonne qualité (précision moindre, TR plus longs, inconsistance plus élevée des TR) que dans des conditions moins exigeantes, témoignant ainsi d'une difficulté supérieure du système cognitif pour répondre aux exigences de la tâche.

3. Méthode

3.1. Participants

Trente-cinq participants (5 hommes et 30 femmes) ont été recrutés en maison de retraite (MDR), à l'Université du Temps Libre de Rennes (UTL) et en foyer logement (FL). Le groupe de participants est constitué de personnes âgées de 63 à 97 ans ($M=83,49$, $ET=7.4$) qui présentent un score au MMSE compris entre 26 et 30 ($M=28,65$) et un niveau d'étude (N.E.) compris entre 5 et 16 années d'étude ($M=11,78$).

3.2. Matériel et procédure

3.2.1. Matériel

La tâche administrée aux participants est une version du paradigme AX-cpt (pour une illustration voir figure 11), présentée sur un écran d'ordinateur. Des lettres (A, B, X et Y) apparaissent au centre de l'écran les unes après les autres. Un essai est une paire de lettres présentées l'une après l'autre au centre de l'écran : la première lettre est le « signal » (A ou B) ; la seconde lettre est la « sonde » (X ou Y). La tâche comporte 100 essais : 70 paires AX, 10 paires BX, 10 paires AY et 10 paires BY. L'essai « cible » est constitué de la paire « signal-sonde » AX (la sonde X précédée immédiatement du signal A). L'occurrence de l'essai-cible est de 70% contre 10% pour chacun des essais « non-cible ». On manipule également l'accessibilité du signal par la durée d'apparition du signal (accessibilité élevée : signal long = 1000 msec vs accessibilité faible : signal court : 500 msec). Le participant a pour consigne de répondre à chaque présentation de la sonde X ou Y c'est-à-dire toutes les deux lettres. La durée du délai « signal-sonde » est d'une seconde. La sonde disparaît lorsque le participant donne sa réponse ou, en l'absence de réponse, au bout de 10 sec. Les paires « signal-sonde » sont réparties selon un ordre aléatoire au sein d'un bloc de 100 essais.

Les participants répondent à l'aide d'un boîtier comportant deux touches, une touche verte et une touche rouge. La consigne donnée est d'appuyer le plus

rapidement possible et sans faire d'erreur sur la touche verte lorsque X est précédé de A (essai cible : AX) et d'appuyer sur la touche rouge dans tous les autres cas (essais non-cibles : BX, AY et BY) (figure 11). Le boîtier réponse est relié à l'ordinateur ce qui permet d'enregistrer le TR (en millisecondes) et la précision (bonne ou mauvaise réponse) à chaque essai. Le logiciel Inquisit 3 a été utilisé pour programmer la tâche AX-cpt.

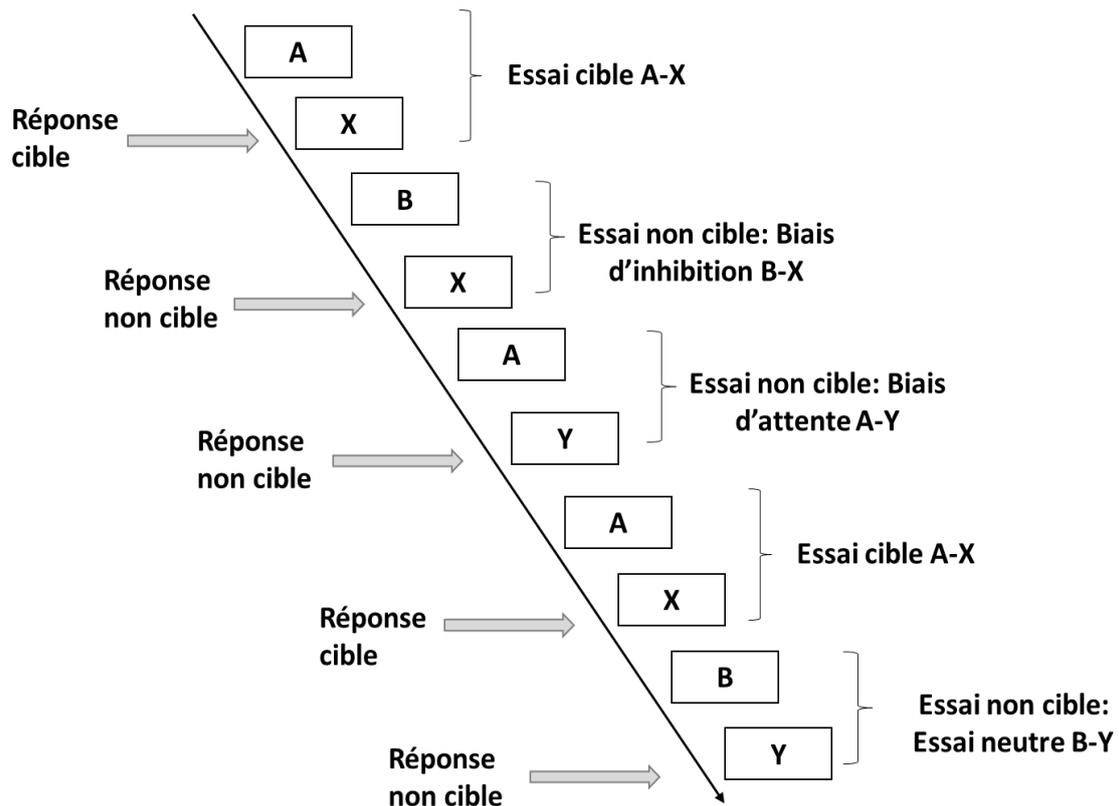


Figure 11 : Schéma de la tâche AX-cpt réalisée par les participants.

3.2.2. Procédure et plan d'expérience

Afin d'étudier l'effet du type d'essai et du temps de présentation du signal sur la précision et le TR, nous avons adopté le plan expérimental suivant. La condition « essai » est un facteur intra-sujets à 4 niveaux (1 : AX, 2 : BX, 3: AY, 4: BY). La condition « signal » est un facteur inter-sujets à deux niveaux (1 : long et 2 : court). Vingt et un participants ont réalisé la tâche avec un signal court et 14 l'ont réalisée avec un signal long. L'exécution de la tâche est systématiquement précédée d'une

phase d'entraînement d'une dizaine d'essais qui permet de vérifier que la consigne est bien comprise par le participant.

Hypothèses opérationnelles

Rappelons que les essais BX et AY constituent les deux essais pour lesquels un biais d'inhibition et un biais d'attente (respectivement) sont induits par une proportion majoritaire d'essais AX. Ces deux essais (BX et AY) constituent alors les deux conditions de tâche les plus exigeantes du point de vue de la mise en œuvre de processus de contrôle cognitif puisqu'il faut inhiber la réponse cible (AX) induite par le contexte majoritaire pour donner une réponse correcte. Plus précisément :

- biais d'inhibition aux essais BX : lorsque la sonde X apparaît, le signal A doit être inhibé pour permettre un traitement efficace du signal B et donner la bonne réponse non-cible (contrôle réactif).
- biais d'attente aux essais AY : lorsque la sonde Y apparaît, la sonde X, fortement attendue puisqu'elle apparaît dans 70% des cas après le signal A, doit être inhibée pour donner la bonne réponse non-cible (contrôle proactif).

Une première série d'hypothèses peut être émise sur cette base.

On peut tout d'abord s'attendre à une performance de moins bonne qualité (nombre d'erreurs en moyenne plus élevé, TR en moyenne plus élevé, plus grande inconsistance de la précision et des TR) aux essais qui sollicitent particulièrement les fonctions attentionnelles et de contrôle inhibiteur de la mémoire de travail (les essais BX et AY), en comparaison aux essais qui les sollicitent moins (les essais « contrôle » BY et dans une moindre mesure, les essais AX). Mais le tableau est plus complexe car la relation importante ici est celle entre la performance aux essais AY et la performance aux essais BX.

Deux cas de figure peuvent en effet se présenter (Braver *et al.*, 2001, p. 751) :

- a) Si les représentations du contexte *sont préservées*, la performance aux essais BX doit être de meilleure qualité que celle aux essais AY (effet d'attente accroissant le nombre de fausses alarmes) (hypothèse H1a).
- b) A l'inverse, si les représentations du contexte *ne sont pas préservées*, la performance aux essais BX doit être de moins bonne qualité (moindre efficacité des processus de contrôle inhibiteur accroissant le nombre de fausses alarmes) que celle aux essais AY (hypothèse H1b).

Une deuxième série d'hypothèses porte sur l'effet du temps de présentation du signal qui opérationnalise ici l'idée de variations dans la qualité de l'encodage. Dans la condition « temps courts de présentation du signal », nous nous attendons à une diminution de la performance (nombre d'erreurs en moyenne plus élevé, TR en moyenne plus élevé, plus grande inconsistance de la précision et des TR) aux essais BX en comparaison avec les essais AY. Cette hypothèse (H2) repose sur l'idée que la diminution de la qualité d'encodage du signal B est plus pénalisante que celle du signal A. Enfin, la différence de la qualité d'encodage ne devrait pas avoir d'effet sur les essais contrôle (BY) ni sur les essais « cible » (AX) (H3).

Enfin, nous nous intéresserons de manière plus exploratoire aux relations entre les mesures de la précision et des TR d'une part, les fluctuations intra-individuelles dans la précision et les latences des réponses des participants d'autre part.

4. Résultats

Les analyses effectuées portent sur les résumés suivants calculés, au niveau individuel, pour les essais AX (70 mesures), BX (10 mesures), AY (10 mesures) et BY (10 mesures) :

- la précision (PR) moyenne (PRi_AX, PRi_BX, PRi_AY, PRi_BY) et la variance de la précision (varPRi_AX, varPRi_BX, varPRi_AY et varPRi_BY), (la mesure de la précision est égale à 1 pour une bonne réponse et 0 pour une erreur).
- le TR moyen (TRi_AX, TRi_BX, TRi_AY, TRi_BY), l'écart-type des TR (etTRi_AX, etTRi_BX, etTRi_AY, etTRi_BY) et le coefficient de variation des TR (cvTRi_AX, cvTRi_BX, cvTRi_AY, cvTRi_BY) pour les seuls essais corrects.

4.1. Effet des manipulations expérimentales sur la performance et sur la VII

Des analyses de variance multivariées à mesures répétées (Manova) ont été réalisées avec le temps de présentation du « signal » (2 modalités : 500 msec, 1000 msec) comme facteur inter-sujets, et le facteur « type d'essai » (4 modalités : AX, AY, BX, BY) comme facteur intra-sujet. Les variables dépendantes sont PRi_AX, PRi_BX, PRi_AY, PRi_BY (4 mesures de précision par sujet), varPRi_AX, varPRi_BX, varPRi_AY et varPRi_BY (4 mesures de la variance de la précision par sujet), TRi_AX, TRi_BX, TRi_AY, TRi_BY (4 mesures du TR par sujet), etTRi_AX, etTRi_BX, etTRi_AY, etTRi_BY (4 mesures de l'inconsistance des TR par sujet) et cvTRi_AX, cvTRi_BX, cvTRi_AY, cvTRi_BY (4 mesures de la VII des TR rapportée à leur moyenne par sujet).

4.1.1. Effet du temps de présentation du signal sur la performance

Les résultats de l'analyse ne montrent pas d'effet significatif du facteur inter-sujets « signal » sur la précision ni sur la variance de la précision. Les résultats des analyses univariées ne montrent pas d'effet de la condition « signal » sur le TR. Les résultats de l'analyse univariée sur la variable dépendante écart-type individuel des

TR pour chaque type d'essai montrent un effet de la condition « signal » [$F(1, 29)=6, p=.02$]. L'inconsistance des TR est plus importante lorsque la présentation du signal est courte, ($m=575$) que lorsque la présentation du signal est longue ($m=294$).

Les résultats de l'analyse univariée avec comme variable dépendante le coefficient de variation individuel des TR (permet le contrôle des TR) pour chaque type d'essai ne montrent pas d'effet de la condition signal.

4.1.2. Effet du type d'essai sur la performance

4.1.2.1. Effet du type d'essai sur la précision et la VII de la précision

S'agissant de l'effet du facteur essai, les résultats de l'analyse montrent un effet significatif sur les données $\Lambda(6,28)=4.34, p<.01$. Les résultats du test de sphéricité de Mauchly conduisent à rejeter l'hypothèse de sphéricité des données ($p<.001$). Nous retiendrons donc les résultats au test de Greenhouse-Geisser, avec le degré de liberté (ddl) corrigé. Les résultats des analyses univariées montrent un effet significatif du facteur essai sur la précision [$F(1.35, 44.55)=5.17, p<.05$] et sur la variabilité de la précision [varPR : $F(2.5, 82)=5.7, p<.005$], [ddl corrigé]. L'effet d'interaction entre la condition « signal » et la condition « matériel » n'est pas significatif. Les résultats des tests de contrastes sur la précision indiquent que :

- i) la précision des essais AX ($m=.985$) est supérieure à celle des essais BX ($m=.838$), [$F(1, 33)=6.53, p=.015$] et AY ($m=.912$) [$F(1, 33)=9.57, p=.004$] ;
- ii) la précision des essais BY ($m=.985$) est supérieure à celle des essais BX [$F(1, 33)=7.89, p=.008$], et AY [$F(1, 33)=7.29, p=.011$] (figure 12). Il n'y a pas de différence significative de précision entre les essais AX et BY.

Les résultats des tests de contrastes sur la variabilité de la précision indiquent que :

- i) la VII de la précision des essais AY ($m=.058$) est supérieure à celle des essais AX ($m=.013$) [$F(1, 33)=10.42, p=.003$] et BY ($m=.011$) [$F(1, 33)=10.23, p=.003$] ;

ii) la VII de la précision des essais BX ($m=.033$) est supérieure à celle des essais BY [$F(1, 33)=4.27, p=.047$] (figure 13). Il n'y a pas de différence significative de VII de la précision entre les essais AX et BY ni entre les essais BX et AY, ni entre les essais AX et BX.

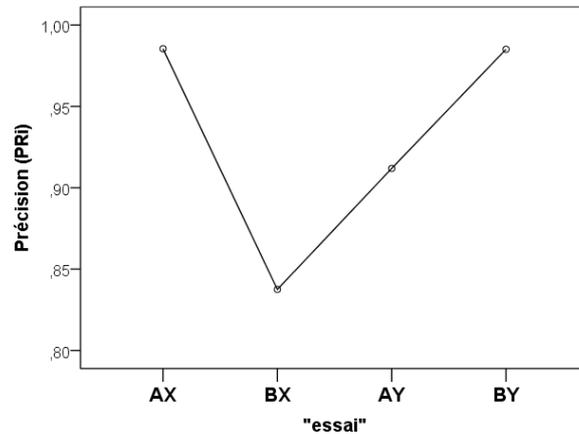


Figure 12 : Précision moyenne du groupe en fonction du type d'essai, n=35.

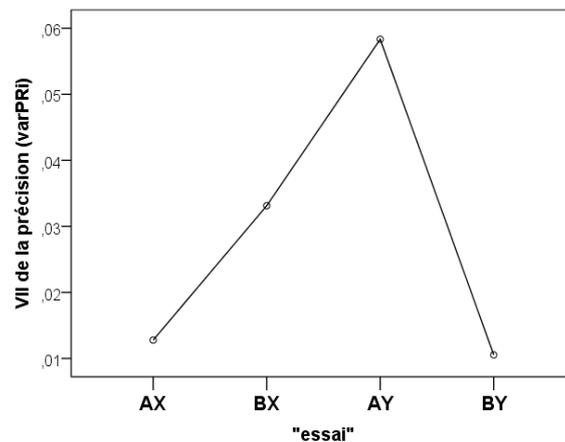


Figure 13 : VII moyenne de la précision en fonction du type d'essai, n=35.

Lorsque l'âge est intégré au modèle comme covariable, les résultats indiquent qu'il n'y a pas d'effet de l'âge sur PR ni sur varPR. Aucun effet d'interaction n'est observé entre l'âge et le facteur essai.

4.1.2.2. Effet du type d'essai sur le TR moyen et sur l'inconsistance des TR

L'analyse des TR et de l'inconsistance des TR au travers des essais porte sur les seuls essais corrects. Des analyses multivariées à mesures répétées, suivant le

même plan d'expérience que pour l'analyse de la précision, ont été réalisées avec le facteur essai comme facteur intra-sujets et le facteur temps de présentation du signal comme facteur inter-sujets. Les variables dépendantes sont les TR et la VII des TR mesurée d'une part par etTR et d'autre part par cvTR qui permet un contrôle du TR moyen. Les résultats montrent un effet du facteur essai [$F(9, 21)=12.2, p<.001$]. Les résultats aux tests univariés des effets intra-sujets, sont significatifs, et révèlent un effet du facteur essai sur le TR [$F(2.5, 9.8)=7.2, p=.001$] [= ddl corrigé], une absence d'effet du facteur essai sur la VII des TR mesurée par etTR ($F<1$) et un effet significatif du type d'essai sur la VII des TR mesurée par le cvTR [$F(3, 87)=5.1, p<.003$]. On n'observe pas d'effet d'interaction entre les conditions « signal » et « essai ».

Les analyses de contrastes indiquent que les TR aux essais AY (m=1290 msec) sont supérieurs à ceux des essais AX (m=884 msec), [$F(1, 29)=28, p<.001$], à ceux des essais BX (m=938 msec), [$F(1, 29)=5.75, p=.01$], et à ceux des essais BY (m=912 msec), [$F(1, 29)=16.6, p<.001$]. Les TR aux essais AY sont donc significativement supérieurs à ceux des trois autres types d'essai (figure 14). Les analyses ne montrent pas de différence entre TR_AX, TR_BX et TR_BY. Il n'y a pas d'effet d'interaction entre la condition « signal » et la condition « essai ».

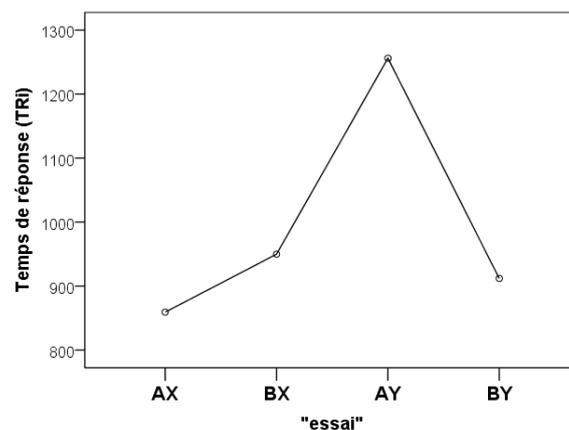


Figure 14 : TR moyen en fonction du type d'essai, n=35.

Les résultats des tests de contrastes indiquent que la VII des TR (cvTR) aux essais AY (m=28.5) est inférieure à celle des essais AX (m=47) [$F(1, 29)=10, p=.004$] et à celle des essais BX (m=50) [$F(1, 29)=18.86, p=.001$] (figure 15). Il n'y a pas de différence entre le cvTR des essais AY et BY, ni entre les essais AX et BX, ni entre les essais AX et BY, ni entre les essais BX et BY.

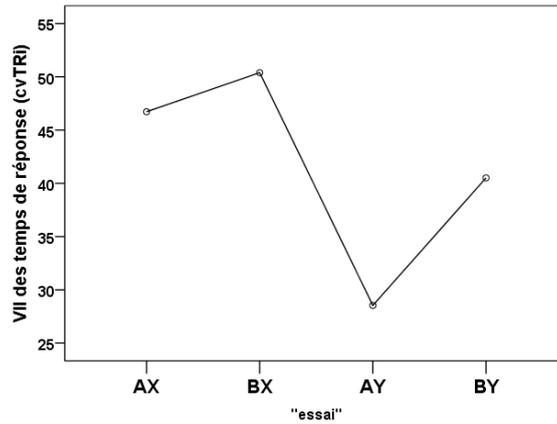


Figure 15: VII des TR (cvTR) en fonction du type d'essai, n=35.

Lorsque l'âge est intégré au modèle comme covariable les résultats indiquent qu'il n'y a pas d'effet de l'âge sur TR ni sur etTR, ni sur cvTR, il n'y a pas non plus d'effet d'interaction entre l'âge et le facteur essai.

- Résumé des résultats (tableau 1) :

Tableau 1 : Résumé des résultats relatifs aux effets des variables indépendantes signal et essai sur les variables dépendantes dans la résolution de la tâche AX-cpt: PR= précision, TR (*= $p < .05$; ns= $p \geq .05$).

| Variables indépendantes | Variables Dépendantes | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|----------------|----|------------------|--------------------------------|
| | PR | Variance de PR | TR | Ecart-type de TR | Coefficient de variation de TR |
| Variable inter-sujets « signal » | ns | ns | ns | * | ns |
| Variable intra-sujets « essais » | * | * | * | ns | * |
| Interaction « signal »* « essais » | ns | ns | ns | ns | ns |

S'agissant des mesures de PR, la précision des essais BX et AY est inférieure à celle des essais AX et BY, la variance de PR des essais AY est supérieure à celle des essais AX et BY ; il n'y a pas de différence significative de précision entre les essais AY et BX la variance de PR des essais BX est supérieure à celle des essais BY.

A propos des mesures du TR, le TR des essais AY est supérieur à celui des essais AX, BX et BY, le coefficient de variation des TR des essais AY est inférieur à celui des essais AX et BX, l'écart-type des TR est plus important lorsque la

présentation du signal est courte, que lorsque la présentation du signal est longue. Lorsque la situation est associée à une demande plus exigeante de la tâche l'inconsistance de la précision est supérieure et la précision moyenne de la performance est plus faible. Lorsque la situation est associée à la mise en œuvre de contrôle proactif (biais d'attente), le TR est supérieur à celui observé dans les autres situations (cibles : AX, non cibles : BX et BY) et l'inconsistance du TR (cvTR) est inférieure à celle des autres essais (cibles : AX et non cibles : BX).

L'inconsistance évaluée par l'écart-type des TR est supérieure lorsque la présentation du signal est courte quel que soit le type d'essai, cependant il n'y a pas d'effet du temps de présentation du signal sur l'inconsistance évaluée par le coefficient de variation inter-essais individuel.

Au total, les résultats des analyses de la précision et des TR ont montré qu'il n'y a pas de différence de performance moyenne ni d'inconsistance de performance intra-tâche liée à l'âge des participants.

4.1.2.3. Comparaison de la performance aux essais BX et AY

L'examen de la précision des participants aux essais BX et AY fait apparaître des résultats qui peuvent contribuer à éclairer l'absence de différences significatives parfois observée lors de la comparaison des performances des participants dans les différentes conditions expérimentales. Selon les individus en effet, la différence entre la précision aux essais BX (PRi_BX) et la précision aux essais AY (PRi_AY) peut être nulle, positive ou négative. Elle est nulle chez les 15 participants qui ne commettent aucune erreur aux items BX et AY (participants dits « très préservés »), positive chez les 10 participants qui sont plus précis aux items BX (97,90 %) qu'aux items AY (75%) (participants dits « préservés ») et négative chez les 10 participants globalement les moins précis et plus précis aux items AY (91%) qu'aux items BX (44,40%) (participants dits « moins préservés »).

Les résultats de la MANOVA effectuée avec le TR comme variable dépendante et les facteurs intra- « type d'essai » (BX vs AY) et inter- « groupe d'appartenance » (très préservés, préservés, moins préservés) mettent en évidence un effet significatif du type d'essai [$\Lambda_{\text{Wilks}}(1,29)=7,97, p<.01$] mais aucun effet du groupe d'appartenance [$F(2, 29)=2,39, p=0.11$] ni d'effet d'interaction entre le type d'essai et le groupe (figure 16.a). La même analyse effectuée avec l'écart-type des

TR (ET_TR) comme variable dépendante montre par ailleurs une absence de différence d'inconsistance des TR entre les essais BX et AY, aucun effet d'interaction entre le type d'essai et le groupe d'appartenance mais une augmentation significative de cette forme de variabilité intra-individuelle, quel que soit le type d'essai, du groupe des participants « très préservés » au groupe des participants « moins préservés » [$F(2, 28)=6,54 ; p<.01$] (figure 16.b). On notera que cette augmentation de l'inconsistance n'est plus significative lorsque les covariables TR_BX et TR_AY sont introduites dans l'analyse [$F(2, 26)=1,97 ; p=.16$]. Enfin, les résultats d'une analyse comparable effectuée avec le coefficient de variation des TR et les mêmes facteurs comme variable indépendante mettent en évidence un effet multivarié significatif du type d'essai [$\Lambda_{Wilks}(1, 28)=9,62, p<.005$], une augmentation significative du coefficient de variation des participants « très préservés » aux participants « moins préservés » [$F(2,28)=6,04 ; p<.01$] mais aucun effet d'interaction entre le type d'essai et le groupe d'appartenance (figure 17.c)

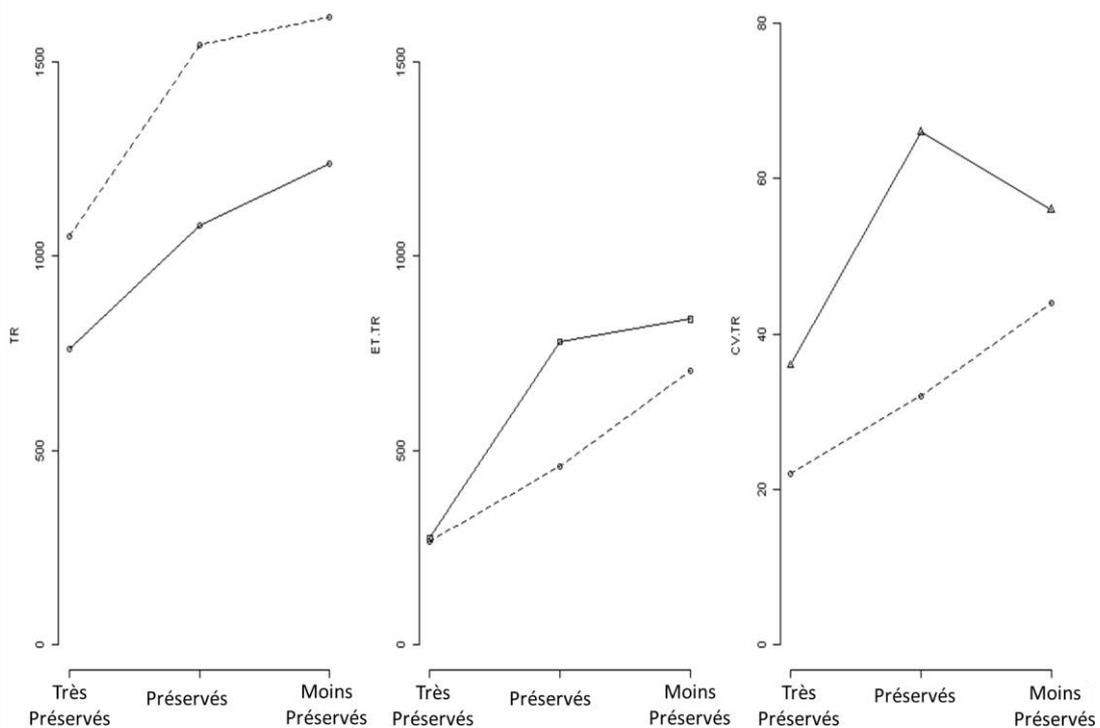


Figure 16 : TR et variabilité intra-individuelle des TR aux essais BX et AY : a) TR ; b) etTR et c) cvTR aux essais BX (traits pleins) et AY (pointillés) pour les trois groupes de participants : « très préservés », « préservés » et « moins préservés ».

4.2. Etude des relations entre les indicateurs de performance

Nous nous intéressons maintenant aux relations entre la précision, les TR et les fluctuations intra-individuelles des TR des participants. Les analyses effectuées visent en particulier à examiner si et dans quelle mesure les relations entre ces variables varient en fonction du type d'essai.

4.2.1. Corrélations observées entre indicateurs pour chaque type d'essai

Les corrélations obtenues pour chaque type d'essai entre les performances moyennes (précision et latences) et les fluctuations intra-individuelles de la précision et des TR sont présentées ci-dessous (tableau 2).

Tableau 2 : Corrélations entre les variables précision (PR), variance de la précision (varPR), temps de réponse (TR), écart-type des temps de réponse (etTR), et coefficient de variation des temps de réponse (cvTR), pour les essais AX, BX, AY et BY.

| | type d'essai | PR | VarPR | TR | ET.TR |
|-------|--------------|--------|-------|-------|-------|
| VarPR | AX | -.99** | | | |
| | BX | ns | | | |
| | AY | -.96** | | | |
| | BY | -.99** | | | |
| TR | AX | -.63** | .60** | | |
| | BX | ns | ns | | |
| | AY | -.50** | .34* | | |
| | BY | -.77** | .77** | | |
| ET.TR | AX | -.38* | .38* | .72** | |
| | BX | ns | ns | .86** | |
| | AY | ns | ns | .42** | |
| | BY | -.37* | .41* | .78** | |
| CV.TR | AX | ns | ns | ns | .65* |
| | BX | ns | ns | .47* | .81** |
| | AY | ns | ns | ns | .88** |
| | BY | ns | ns | ns | .67* |

*p<.05; **p<.01

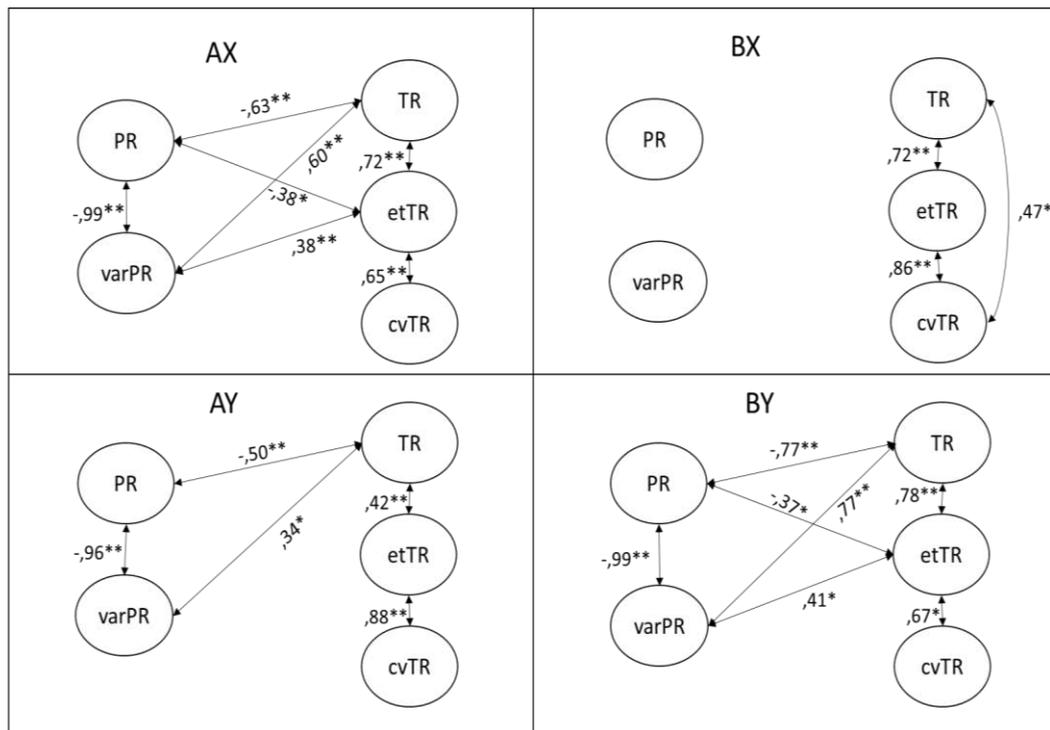


Figure 17: Représentation des relations linéaires entre les indicateurs de performance (précision : PR, variance de la précision : VarPR, TR, écart-type des TR : etTR et coefficient de variation des TR : cvTR), pour les essais AX, BX, AY BY. Seules sont représentées les relations significatives (*p<.05 ; **p<.01).

Les résultats indiquent que i) la diminution de la précision est associée à l'augmentation de sa variabilité pour les essais AX, AY et BY et ce lien n'apparaît pas pour les essais BX, ii) la diminution de la précision est associée à l'augmentation des TR pour les essais AX, AY et BY et ce lien n'apparaît pas pour les essais BX, iii) la diminution de la précision est associée à l'augmentation de la VII des TR mesurée par etTR seulement pour les essais AX et BY, et ce lien entre PR et la VII des TR n'apparaît pas lorsqu'elle est mesurée par le cvTR. Les mêmes liens sont logiquement observés entre la variance de la précision et les mesures de TR (tableau 2 et figure 17). Pour les essais BX, la variance des mesures de précision (PR et varPR) n'est pas associée à celle des mesures des TR (TR, etTR et cvTR). On peut souligner ici le statut spécifique du cvTR qui n'est pas lié aux autres indicateurs de performance, et permet une mesure de la VII indépendante du TR moyen contrairement à l'écart-type des TR.

Des analyses de corrélations partielles sont réalisées pour établir le lien entre les indicateurs de performance indépendamment de la performance moyenne.

- Contrôle de la précision moyenne :

De manière assez inattendue, après un contrôle de la précision moyenne, l'augmentation de la variance de la précision est associée à la diminution du TR aux essais AX et AY, (AX : $r = -.46, p < .01$; AY : $r = -.54, p < .005$) (figure 18). La VII de la précision ne serait donc pas associée à une augmentation des TR mais à une diminution du TR pour ces essais ayant en commun de présenter le signal cible. La variance de la précision n'est plus associée au TR moyen pour les essais BY.

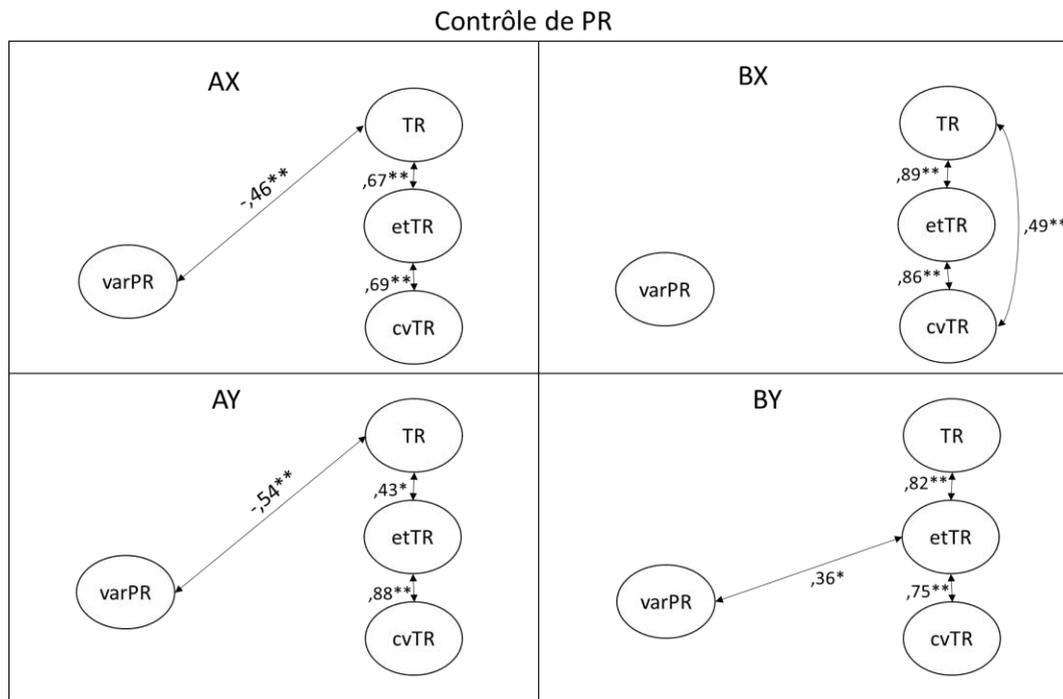


Figure 18: Représentation des corrélations entre les indicateurs de performance (précision : PR, variance de la précision : VarPR, TR, écart-type des TR : etTR et coefficient de variation des TR : cvTR) après contrôle de la précision moyenne, pour les essais AX, BX, AY et BY.

Seules sont représentées les relations significatives (* $p < .05$; ** $p < .01$).

- Contrôle du TR moyen :

La corrélation entre PR et etTR n'est plus significative pour les essais AX (le lien entre PR et etTR est dû à la variable TR) alors que pour les essais BY, cette même relation est significative et positive, $r = .54, p < .005$ (figure 19).

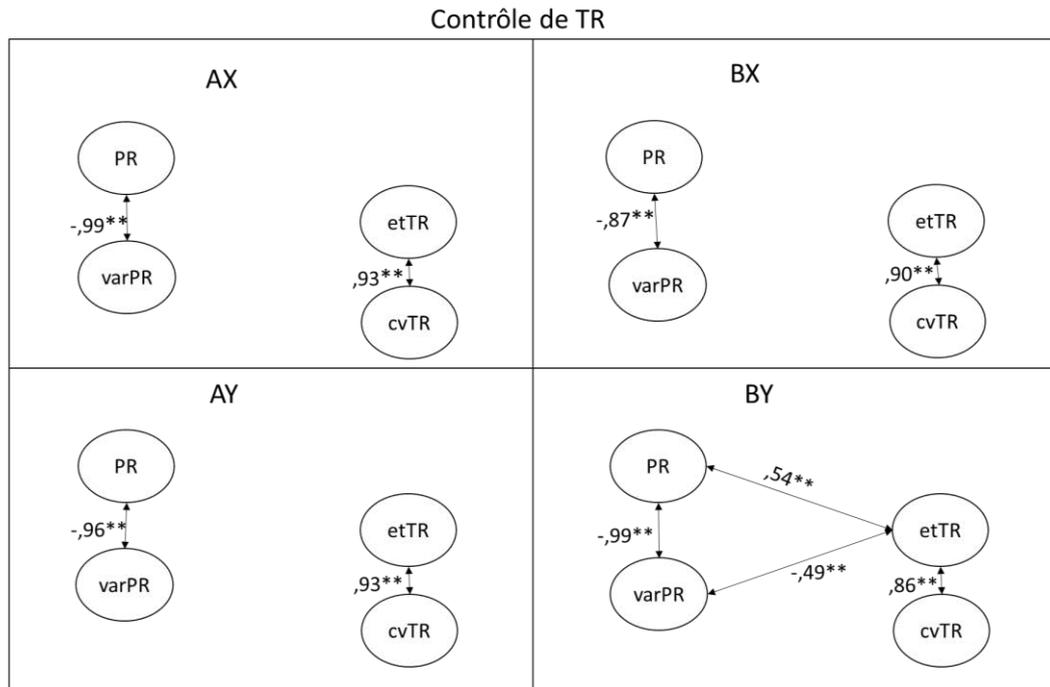


Figure 19 : Représentation des corrélations entre les indicateurs de performance (précision : PR, variance de la précision : VarPR, TR, écart-type des TR : etTR et coefficient de variation des TR : cvTR) après contrôle du TR moyen, pour les essais AX, BX, AY BY. Seules sont représentées les relations significatives (* $p < .05$; ** $p < .01$).

- Contrôle de PR et TR :

Enfin lorsque les variables TR et PR sont contrôlées, la corrélation entre varPR et etTR est significative et positive pour les essais AX, BY et AY (AX : $r = .39$, $p < .05$; BY : $r = .38$, $p < .05$; AY : $r = .52$, $p < .005$) et la corrélation entre varPR et cvTR n'est pas significative pour les essais AX et BY. Cependant, pour les essais AY, les résultats des analyses de corrélations partielles montrent que varPR est corrélée de manière significative et positive à cvTR, $r = .44$, $p < .05$ (figure 20).

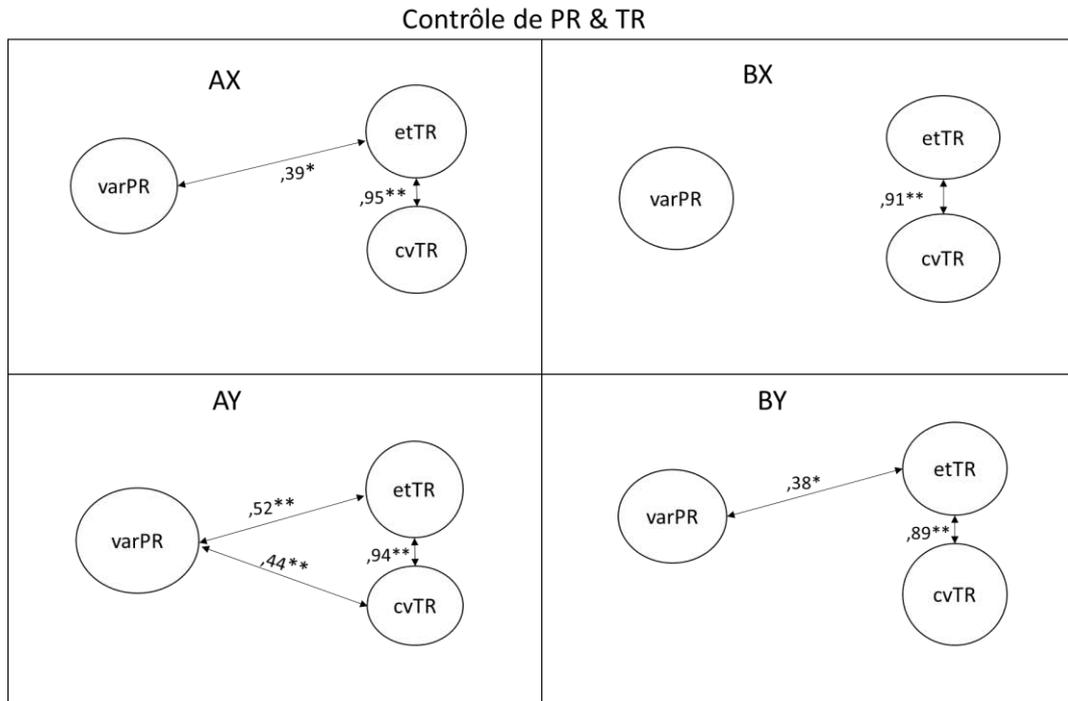


Figure 20 : Représentation des corrélations entre les indicateurs de performance après contrôle de la précision moyenne (PR) et du TR moyen. Seules sont représentées les relations significatives (* $p < .05$; ** $p < .01$).

Principalement, lorsque la précision moyenne est contrôlée (figure 18), le lien entre la VII de la précision (varPR) et le TR moyen des essais AX et AY est modifié (sens inverse). Pour ces essais, l'augmentation de la VII de la précision est donc associée à une augmentation de la vitesse. Pour les essais BY, la VII de la précision est indépendante du TR moyen et son augmentation reste associée à une augmentation de la VII du TR mesurée par l'écart-type des TR alors que ce même lien n'est plus significatif pour les essais AX. La relation positive entre la VII de la précision et le TR moyen dépend de la précision moyenne, la VII de la précision n'est donc pas associée à une diminution de la vitesse de traitement. Lorsque le TR moyen est contrôlé (figure 19), les mesures de précision (PR et varPR) ne sont plus associées à etTR pour les essais AX. Pour les essais BY, le lien entre PR et etTR devient positif, et le lien entre la VII de la précision et etTR devient négatif. La relation négative entre l'écart-type des temps de réponse et la précision ainsi que la relation positive entre l'écart-type des TR et la VII de la précision dépendent du TR moyen. Le contrôle du TR moyen montre que l'augmentation de la VII des TR mesurée par l'écart-type n'est pas liée à une diminution de la précision.

Enfin, le lien entre les mesures de VII de la précision et celle des TR lorsque la précision moyenne et le TR moyen sont contrôlés (figure 20), indique que la VII de la précision est associée de manière positive à l'écart-type des temps de réponse (excepté aux essais BX), et que la VII de la précision est associée de manière positive à celle des TR lorsqu'elle est mesurée par le coefficient de variation, seulement pour les essais AY. En plus d'une différence entre les essais, ici, la différence des mesures de VII des TR (écart-type et coefficient de variation des TR) est soulignée.

Pour résumer, nous retiendrons que l'augmentation de la précision est associée à une diminution des TR (excepté pour les essais BX) alors que l'augmentation de la variance de la précision est associée à une diminution des TR moyens lorsque la précision moyenne est contrôlée, pour les essais AX et AY et n'est pas liée aux TR moyens aux essais BX et BY. L'augmentation de la précision n'est pas associée à une augmentation de la VII des TR mesurée par le cvTR pour les 4 types d'essai. L'ensemble de ces résultats indique que le lien entre la VII de la précision et les autres indicateurs de performance (TR et VII des TR) dépend fortement de la précision moyenne et que le lien entre la précision moyenne et la VII des TR dépend du TR moyen. Toutefois, lorsque la performance moyenne est contrôlée (PR et TR) la VII de la précision est associée à la VII des TR (seulement etTR pour AX et BY et, etTR et cvTR pour AY). On note également que seule l'augmentation des TR moyens est associée à l'augmentation de la VII des TR mesurée par le coefficient de variation aux essais BX. On retient ici, que la relation entre la mesure de l'inconsistance par le cvTR et les autres indicateurs de performance permet de différencier les situations exigeantes en contrôle cognitif des situations peu exigeantes en contrôle cognitif. Le pattern de corrélations entre les performances des essais BX diffère particulièrement de ceux des autres types d'essais, car il ne révèle aucun lien entre les mesures de précision et les mesures de TR (mesure moyenne et mesure de VII).

4.2.2. Relations entre précision moyenne et VII de la précision

Concernant les mesures de la précision, la relation entre moyenne et variabilité intra-individuelle est significative et très élevée pour les essais AX, AY et BY ($r > .95$), la mesure de la VII de la précision se superpose à celle de la moyenne

et ne présente pas d'intérêt dans l'étude de la performance aux essais AX, AY et BY. Cependant, la relation observée aux essais BX entre la moyenne et la VII de la précision n'est pas significative. Dans cette étude, la situation de contrôle réactif (engagement des processus de contrôle inhibiteur) conduit à une variabilité de la précision des réponses qui n'est pas résumée par la précision moyenne.

4.2.3. Relations entre TR moyen, inconsistance des TR (écart-type et coefficient de variation des TR)

Pour les mesures des TR moyens et l'inconsistance des TR, la relation linéaire entre TR et etTR est révélée par les analyses pour les quatre types d'essais. Les observations effectuées montrent que la relation entre etTR et cvTR est significative quel que soit le type d'essai. Il semblerait que pour les essais inducteurs de biais d'attente et d'inhibition, donc cognitivement coûteux, le lien entre etTR et cvTR soit plus important que pour les essais cibles et neutres, moins coûteux cognitivement. Mais si la relation entre etTR et cvTR aux essais AY diffère significativement de cette même relation aux essais AX ($z=2,40$; $p<.05$) et BY ($z=2,25$; $p<.05$), la relation entre etTR et cvTR aux essais BX ne diffère pas significativement de cette même relation aux essais AX ($z=1,4$; ns) et BY ($z=1,26$; ns).

Le coefficient de variation des TR apparaît dans cette étude comme un indicateur indépendant du TR moyen, à l'exception des essais BX pour lesquels la relation entre TR et cvTR est à prendre en compte.

Ces résultats permettent de montrer que le lien entre la performance moyenne et la VII de la performance peut varier selon la demande de la tâche. Précisément, l'inconsistance de la précision aux essais BX semble être un indicateur pertinent dans l'étude du fonctionnement cognitif alors que ce n'est pas le cas des autres types d'essais.

Cette différence entre les essais n'est donc pas dépendante de la différence des scores de précision mise en évidence au niveau du groupe, comme cela a été observé par les analyses de variance la précision aux essais AY et BX est inférieure à celle des deux autres types d'essais AX et BY, ni du niveau moyen d'inconsistance de la précision car le niveau d'inconsistance de la précision est supérieur pour les

essais AY et BX comparés aux essais BY, et supérieur pour les essais AY comparés aux essais AX.

4.2.4. Relations entre indicateurs de la variabilité intra-individuelle

Nous avons vu que lorsque les variables TR et PR sont contrôlées (figure 20), l'augmentation de l'inconsistance de la précision (varPR) est associée à l'augmentation des mesures de l'inconsistance des TR (etTR et cvTR), aux essais AY, ce qui n'est pas observé pour les 3 autres types d'essais. L'inconsistance de la précision aux essais AX et BY est liée à l'inconsistance des TR lorsqu'elle est évaluée par l'écart-type des TR et ce lien n'est pas retrouvé lorsque l'inconsistance des TR est mesurée par le coefficient de variation des TR.

L'inconsistance de la précision aux essais BX n'est pas liée à l'inconsistance des TR (ni à etTR, ni à cvTR). Ces résultats montrent que le lien entre les indicateurs de VII des TR et de la précision, n'est pas systématique et dépend des caractéristiques de la tâche. Plus précisément, la VII des TR semble apporter des indications différentes de celles données par la VII de la précision sur le fonctionnement du système cognitif lorsqu'elle est évaluée par le coefficient de variation des TR pour les essais AX, BY et BX.

Ici, la différence principale des résultats des analyses de corrélations entre AY et BX, est la relation entre les mesures des TR et de précision, relation significative pour les essais AY mais non significative pour les essais BX, ce qui suggère que ces deux situations sont associées à des processus distincts de contrôle comme cela a déjà été montré par des études antérieures (Braver *et al.*, 2001, Braver *et al.*, 2005, Paxton *et al.*, 2006).

4.2.5. Structure des relations entre indicateurs

Pour compléter l'étude du lien entre les mesures de performances en fonction du type d'essai nous avons effectué une analyse de classification hiérarchique des indicateurs suivants :

- la précision moyenne : PRi_AX, PRi_BX, PRi_AY, PRi_BY ;
- le TR moyen : TRi_AX, TRi_BX, TRi_AY, TRi_BY ;
- l'écart-type des TR : etTRi_AX, etTRi_BX, etTRi_AY, etTRi_BY ;

- le coefficient de variation des TR : cvTR (cvTRi_AX, cvTRi_BX, cvTRi_AY, cvTRi_BY).

Les résultats de cette analyse sont présentés ci-dessous (figure 21) :

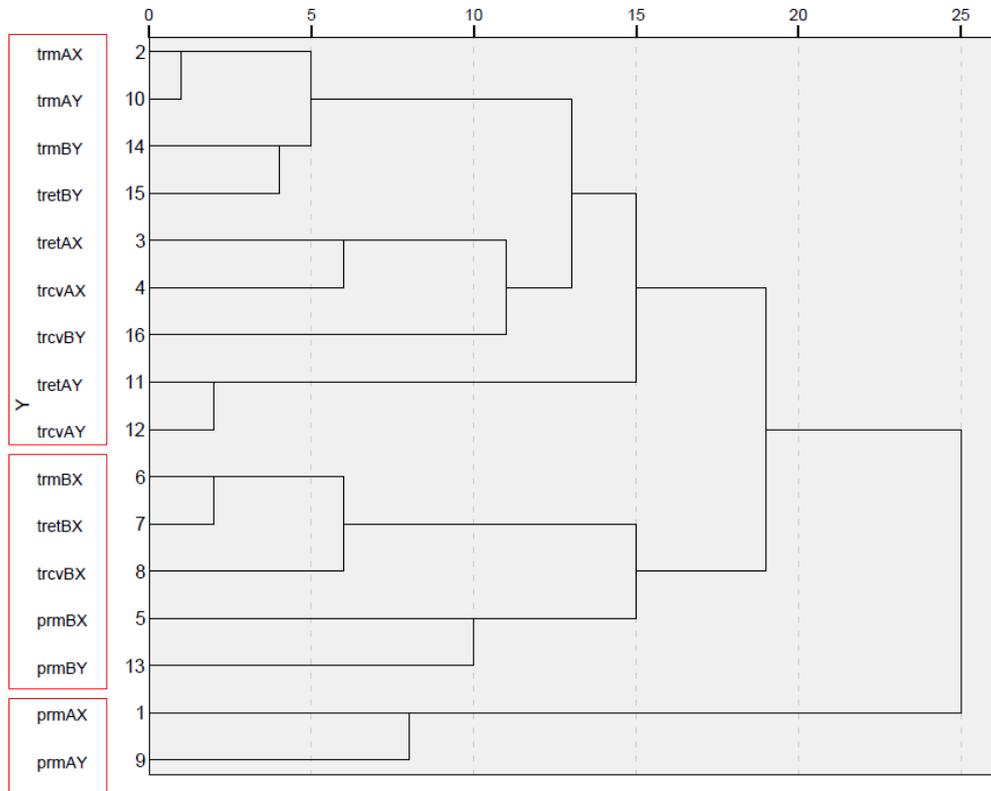


Figure 21 : Dendrogramme réalisé à partir de 16 mesures de performance (PR et TR selon le type d'essai) permettant d'obtenir 3 groupes d'indicateurs homogènes (cluster 1 : TR, VII des TR aux essais AX, BY et AY ; cluster 2 : TR, VII des TR, PR à BX et PR à BY ; et cluster 3 : PR à AX et AY).

L'analyse de classification hiérarchique permet d'identifier 3 groupes d'indicateurs homogènes :

- 1-le TR, la VII des TR aux essais AX, BY et AY
- 2-le TR, la VII des TR et la précision à BX et la précision à BY
- 3-la précision à AX et AY

Ces trois groupes d'indicateurs permettent i) d'identifier le statut spécifique de la performance aux essais BX comparée à celle des autres types d'essais, ii) la précision aux essais AX et AY associés au signal cible, se distingue de la précision aux essais BX et BY associés au signal non cible. Le type de signal semble donc

jouer un rôle sur la performance mesurée par la précision au-delà du type d'essai (inducteur de biais ou non), ce qui n'est pas le cas lorsque la performance est évaluée par le TR. La mesure de la performance par l'évaluation du TR semble donc être plus sensible à la variabilité de la demande de contrôle induite par les manipulations de la tâche que la mesure de la précision, et ce spécifiquement pour les essais BX.

4.3. Mesure de l'instabilité temporelle avec le carré moyen des différences successives (MSSD)

L'objectif de ces analyses portant sur l'instabilité temporelle est d'étudier la variabilité des TR (y compris les TR pour les mauvaises réponses) d'un système perturbé par des changements de contraintes sur 100 essais successifs. L'étude porte sur l'instabilité temporelle des TR sans tenir compte du type d'essai et permet l'introduction d'une notion importante : la dépendance temporelle, estimée par l'autocorrélation des TR successifs.

4.3.1. Mesure de l'instabilité temporelle des TR

Nous emploierons le carré moyen des différences successives (« *mean square successive difference* » ou MSSD : von Neumann, Kent, Bellinson, & Hart, 1941), pour mesurer la variabilité intra-individuelle des TR. Le MSSD pour une série temporelle comportant n occasions de mesure est donné par la formule :

$$MSSD = \frac{\sum(x_{i+1} - x_i)^2}{n - 1}$$

Le MSSD peut aussi s'exprimer comme une fonction de la variance σ^2 et de l'autocorrélation de premier ordre $\rho(1)$ soit :

$$\delta^2 = 2\sigma^2(1 - \rho(1))$$

Basée sur l'équation de δ^2 , l'instabilité temporelle est explicitement exprimée comme une fonction de la variabilité et de la dépendance temporelle. Ainsi, l'instabilité temporelle d'une série chronologique est importante quand sa variabilité est importante et que la dépendance temporelle entre observations successives est

faible. Si les observations successives sont indépendantes soit $\rho(1) = 0$, δ^2 est le double de la variance σ^2 (von Neumann *et al.*, 1941).

La valeur du MSSD a été calculée pour chaque participant, en suivant la formule décrite précédemment. Une description de la distribution du MSSD figure dans le tableau 3.

Tableau 3: Description de la distribution du MSSD pour le groupe de participants.

| | N | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|------|----|---------|-----------|---------|------------|
| MSSD | 35 | 28 319 | 4 425 291 | 681 838 | 955 059 |

MSSD et intervalle de confiance :

L'intervalle de confiance de l'estimation du MSSD est estimé par une méthode de rééchantillonnage (« *bootstrap* » par tirage aléatoire) et a été calculé pour chaque participant. Les intervalles de confiance sont retenus à 0.95 (méthode Bca « *Biais corrected acceleration* ») avec 5000 répliques (script en annexe 2). L'intervalle de confiance ainsi calculé pour chaque participant permet d'évaluer la précision de l'estimation du MSSD : plus cet intervalle est important plus l'estimation du MSSD est imprécise. L'intervalle de confiance apparaît ainsi comme un indicateur qui permet de différencier les participants sur la précision de l'évaluation de l'instabilité temporelle c'est-à-dire sur le caractère « régulier », sur *la stabilité de cette instabilité* au travers de la tâche. Le recouvrement de deux intervalles de confiance signifie que les deux valeurs du MSSD ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre.

Les intervalles de confiances à 95% du MSSD sont représentés sur la figure 22.

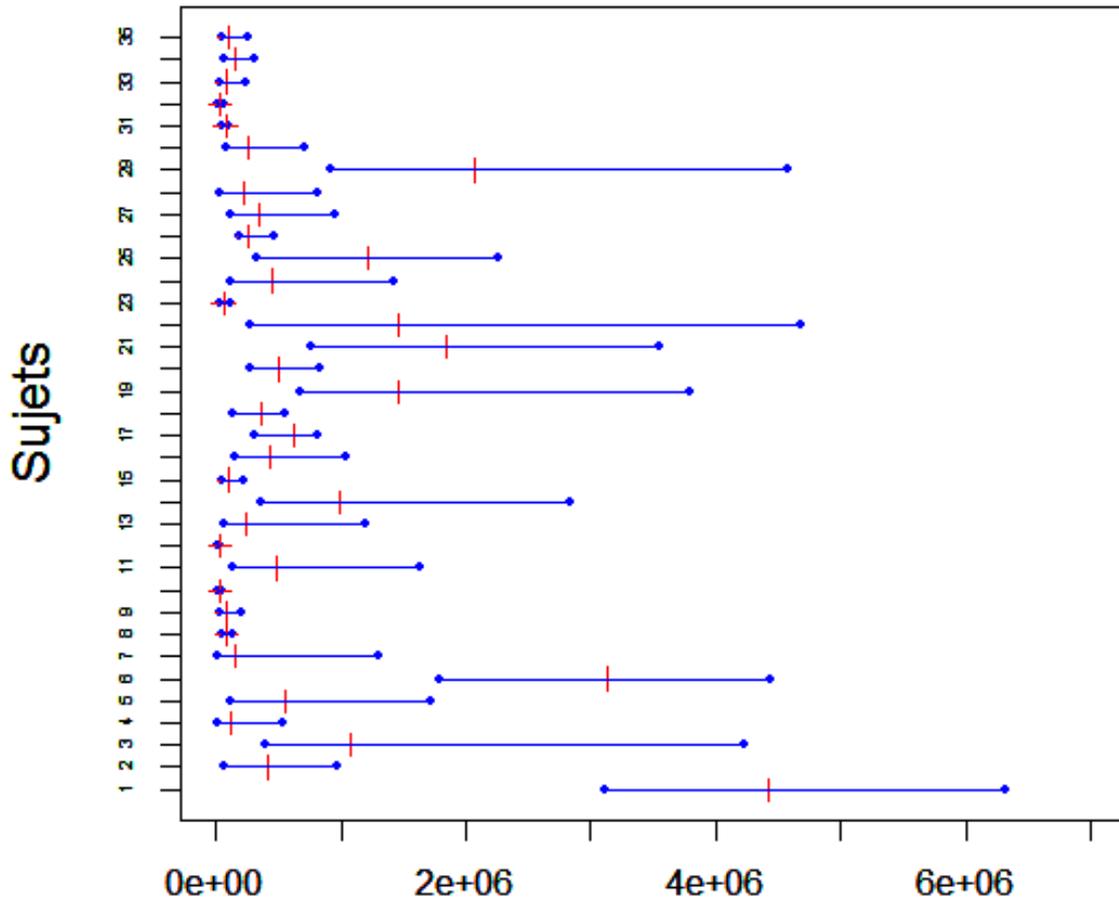


Figure 22 : Mesure de l'instabilité temporelle avec le MSSD : tendance centrale (en rouge) et intervalle de confiance à 95% (biais corrigé et accéléré), n=35.

On voit par exemple que l'évaluation du MSSD est précise chez les participants 31 et 32 (faible étendue de l'intervalle de confiance), ce qui témoigne d'une régularité des fluctuations intra-individuelles ainsi mesurées chez ces deux participants. A l'inverse, l'évaluation du MSSD chez les participants 29 et 22 est très imprécise (importante étendue de l'intervalle de confiance), témoignant cette fois d'une irrégularité au travers des essais de l'instabilité temporelle. Les observations ci-dessus rendent compte de la difficulté à différencier le MSSD chez certains participants en raison de la grande irrégularité des fluctuations intra-individuelles au travers des essais (participants 21 et 22). Ces résultats montrent donc que la question de la fiabilité des indicateurs de la variabilité intra-individuelle est à considérer avec attention car deux mesures centrales de la VII apparemment différentes peuvent ne pas être statistiquement différentes.

4.3.2. Etude des relations entre la performance à la tâche AX-cpt et l'instabilité temporelle des TR

L'objectif de ces analyses est de mettre en évidence l'apport de l'instabilité temporelle comme mesure des fluctuations intra-individuelles pour différencier les individus dans leur fonctionnement cognitif. Nous commencerons par étudier la relation entre différents indicateurs de performance à la tâche AX-cpt et l'instabilité temporelle des TR mesurée par le MSSD.

Nous retiendrons pour ce faire les scores des participants à l'ensemble des 100 essais de la tâche, quel que soit le type d'essai, en les résumant au niveau individuel par la précision moyenne (PRi), la variance de la précision (varPRi), la moyenne des TR (TRi), l'écart-type des TR (etTRi) et le coefficient de variation des TR (cvTRi). Les corrélations entre ces différents indicateurs, la valeur centrale du MSSD, l'irrégularité des fluctuations intra-individuelles mesurée par l'étendue de l'intervalle de confiance du MSSD, le score au MMSE et l'âge des participants, apparaissent dans le tableau 4.

Tableau 4 : Corrélations entre la performance moyenne individuelle (TRi, etTRi, cvTRi, PRi, varPRi), les mesures de l'instabilité temporelle (valeur du MSSD et de l'étendue de son intervalle de confiance : IC.MSSD), l'âge et le score au MMSE.

| | | TRi | etTRi | cvTRi | PRi | varPRi | MSSD | IC.MSSD | âge | MMSE |
|---------|----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|-----|------|
| etTRi | <i>r</i> | ,80** | 1 | | | | | | | |
| cvTRi | <i>r</i> | ns | ,59** | 1 | | | | | | |
| PRi | <i>r</i> | -,61** | -,62** | -,34* | 1 | | | | | |
| varPRi | <i>r</i> | ,77** | ,82** | ,39* | -,93** | 1 | | | | |
| MSSD | <i>r</i> | ,86** | ,95** | ,37* | -,49** | ,75** | 1 | | | |
| IC.MSSD | <i>r</i> | ,51** | ,84** | ,70** | -,53** | ,67** | ,76** | 1 | | |
| âge | <i>r</i> | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 1 | |
| MMSE | <i>r</i> | -,57** | -,51** | ns | ,58** | -,65** | -,46** | ns | ns | 1 |

Comme on peut le voir (tableau 4), les mesures de performances à la tâche AX-cpt sont corrélées entre elles à l'exception du cvTRi, sans relation significative avec TRi. Signalons que contrairement aux apparences, la corrélation entre cvTRi et PRi n'est pas significativement plus faible que celle entre PRi et TRi ($z=1.40$; ns). On voit aussi que l'augmentation des TR est associée à une augmentation d'etTRi, à une diminution de PRi et à une augmentation de varPRi. L'augmentation de PRi est enfin, fort logiquement, très reliée à la diminution de varPRi.

Par ailleurs, les corrélations observées montrent que l'augmentation du MSSD s'accompagne: a) d'une augmentation significative de l'étendue de son intervalle de confiance, $r=.76, p<.001$; b) d'une diminution significative de PR et d'une augmentation significative de la VII de la précision (varPR), $r=.75, p<.001$; c) d'une augmentation significative des TR, $r=.86, p<.001$, et de la VII des TR (etTRi : $r=.95, p<.001$; cvTRi : $r=.37, p<.05$ ($z=5.57, p<.01$)). On constate également que la relation entre MSSD et cvTRi est plus faible que celle entre MSSD et etTRi ($z=5.57, p<.01$]. Les résultats montrent enfin que l'augmentation de la valeur du MSSD est liée à une diminution du score au MMSE, $r=-.46, p=.005$, mais n'est pas liée à une augmentation de l'âge.

Les résultats montrent enfin que l'augmentation de l'étendue de l'intervalle de confiance est liée à : a) l'augmentation de la valeur du MSSD ; b) l'augmentation des TR, TRi, $r=.51, p<.001$, de la VII des TR (etTR, $r=.84, p<.001$; cvTR), $r=.70, p<.001$; c) à la diminution de la précision, $r=-.53, p<.005$ et à l'augmentation de la VII de la précision (varPRi), $r=.67, p<.001$. L'étendue de l'intervalle de confiance du MSSD n'est corrélée significativement ni à l'âge, ni au MMSE.

Nous avons calculé ensuite des corrélations partielles en contrôlant successivement différentes variables. Les résultats de ces analyses montrent que lorsque le TR est contrôlé, les corrélations entre le MSSD et l'étendue de l'intervalle de confiance du MSSD restent significatives $r=.72, p<.001$. Il y a bien une relation entre la valeur du MSSD et la valeur de l'étendue de l'intervalle de confiance indépendamment de la valeur du TR. L'écart-type des TR et cvTR restent également significativement corrélés à MSSD (respectivement, $r=.84, r=.68, ps<.001$) et à l'étendue de son intervalle de confiance (respectivement, $r=.83, r=.80, ps<.001$). Ces résultats montrent que la relation entre les mesures relatives à l'évaluation du MSSD et la VII des TR est indépendante des TR moyens.

On constate aussi, en contrôlant cette fois la précision moyenne, une relation entre la VII de la précision et les mesures relatives à l'évaluation du MSSD. La corrélation entre varPRi et la valeur du MSSD et la corrélation entre varPRi et l'étendue de l'intervalle de confiance sont significatives (respectivement, $r=.90$ et $r=.57, ps<.001$). De plus, lorsque la valeur du MSSD est contrôlée, l'étendue de l'intervalle de confiance reste corrélée de manière significative à TRi, etTRi et à cvTRi. Les corrélations entre l'étendue de l'intervalle de confiance et TRi ($r=-.41,$

$p=.02$), etTRi, ($r=.55$, $p<0.5$) et cvTRi ($r=.69$, $p<.001$). Enfin, lorsque l'étendue de l'intervalle de confiance est contrôlée, cvTRi n'est plus corrélé de manière significative à la valeur du MSSD et les corrélations entre la valeur du MSSD et TRi ($r=.84$, $p<.001$) et etTRi ($r=.87$, $p<.001$) restent significatives et d'amplitude équivalente.

Les résultats de ces analyses de corrélations et ceux des analyses de corrélations partielles nous poussent à poursuivre les analyses des résultats en retenant comme caractéristique de l'efficacité cognitive la valeur de l'étendue de l'intervalle de confiance du MSSD qui est un indicateur de l'irrégularité de l'instabilité temporelle au travers des items, et apparaît moins dépendant du TR que la valeur du MSSD (qui est un indicateur d'une forme d'inconsistance qui prend en compte les dépendances temporelles). Cet indicateur semble également être davantage lié à la VII des TR que ne l'est le MSSD (cf. résultats des corrélations et des corrélations partielles lorsque le TR moyen est contrôlé). De plus, l'étendue de l'intervalle de confiance du MSSD est indépendante du niveau d'efficacité cognitive général évalué par le MMSE ce qui n'est pas le cas de la valeur du MSSD.

4.3.3. Différenciation des individus sur la base de l'irrégularité de l'instabilité temporelle des TR à la tâche AX-cpt

L'étendue de l'intervalle de confiance du MSSD (icMSSD) paraît pouvoir être considérée comme une caractéristique du fonctionnement cognitif de la personne. Nous avons donc construit deux groupes d'individus à partir des valeurs de la variable icMSSD rapportée à la moyenne mMSSD du groupe. Le premier groupe comporte des participants chez qui l'instabilité temporelle des TR est régulière (IT.REG : rapport icMSSD/mICSSD faible). Le second groupe est composé de participants chez qui l'instabilité temporelle des TR est irrégulière (IT.IRR : rapport icMSSD/mMSSD élevé) (tableau 5, figure 23). La figure 23 permet une visualisation des participants triés par ordre de grandeur de l'étendue de l'intervalle de confiance, dans l'ordre croissant, et de la moyenne du groupe. Cette représentation graphique permet d'identifier les participants chez qui l'instabilité temporelle mesurée par le MSSD est régulière ($icMSSD/mMSSD < 2$) ou pas.

Tableau 5 : Distribution des données en fonction du groupe basé sur la valeur de l'étendue de l'intervalle de confiance de la valeur du MSSD (IC_MSSD), n=35.

| | | MSSD | IC.MSSD | Pri | varPri | TRi | efTRi | cvTRi | MMSE | âge |
|---------------|----------------|-------------------|-----------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| IT.REG | <i>Moyenne</i> | 274 512 | 607 155 | 0,973 | 0,028 | 785 | 384 | 49,25 | 28,89 | 83,3 |
| | <i>n=27</i> | <i>Ecart-type</i> | 261 158 | 546 817 | 0,04 | 0,038 | 213 | 184 | 20,52 | 1,65 |
| IT.IRR | <i>Moyenne</i> | 2 056 562 | 3 267 468 | 0,922 | 0,11 | 1570 | 1004 | 71,14 | 27,75 | 84 |
| | <i>n=8</i> | <i>Ecart-type</i> | 1 173 565 | 658 499 | 0,067 | 0,062 | 806 | 281 | 20,23 | 1,91 |

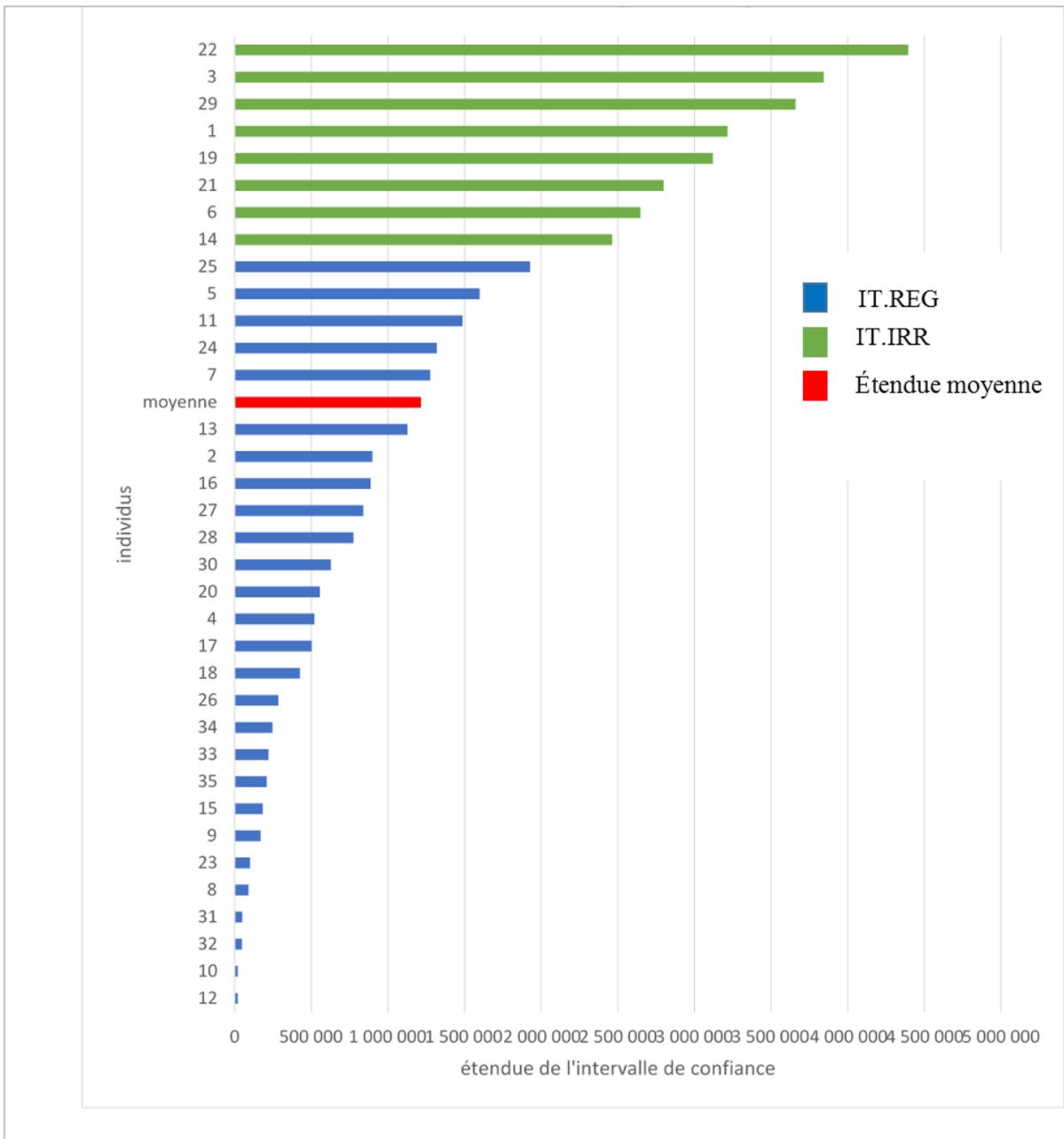


Figure 23 : Visualisation de l'étendue de l'intervalle de confiance calculé par bootstrap du MSSD, par Bca 0,95, pour chaque individu trié par ordre croissant, n=35. IT.REG : l'instabilité temporelle des TR est régulière, IT.IRR : l'instabilité temporelle des TR est irrégulière.

4.3.4. Performance à la tâche AX-cpt en fonction de la régularité/irrégularité de l'instabilité temporelle

Nous nous intéresserons dans cette section à la performance à la tâche AX-cpt dans les deux groupes précédemment contrastés. Compte tenu des résultats précédents, la VII des TR est mesurée par le coefficient de variation (cvTR). Les analyses multivariées effectuées adoptent le plan suivant : le facteur groupe est une variable indépendante inter-sujets (deux modalités : instabilité temporelle régulière (IT.REG), instabilité temporelle irrégulière (IT.IRR)). Le facteur « type d'essai » est une variable indépendante intra-sujet à 4 modalités (AX, BX, AY et BY). Les analyses des mesures de la précision (PRi_AX, PRi_BX, PRi_AY, PRi_BY, varPRi_AX, varPRi_BX, varPRi_AY et varPRi_BY) et celles des TR (TRi_AX, TRi_BX, TRi_AY, TRi_BY, etTRi_AX, etTRi_BX, etTRi_AY, etTRi_BY, cvTRi_AX, cvTRi_BX, cvTRi_AY, cvTRi_BY) sont réalisées séparément.

- Analyses de la précision et de la VII de la précision

Les résultats des analyses multivariées montrent un effet significatif du groupe [$\chi^2(2,32)=4,3, p<.05$] et du type d'essai [$\chi^2(6,28)=8,3, p<.001$] sur la précision et la variabilité de la précision. Les résultats aux tests univariés ne montrent pas d'effet du groupe sur la précision ni d'interaction entre le groupe et le type d'essai. Les résultats aux tests univariés montrent un effet du facteur groupe sur la VII de la précision [$F(1, 33)=9,5, p=.004$]. L'effet d'interaction groupe \times type d'essai n'est pas significatif. La VII de la précision est plus importante pour le groupe IT.IRR ($m=.065$) que pour le groupe IT.REG. ($m=.021$) (figure 24). Il n'y a donc pas en moyenne de différence de précision entre les deux groupes mais une différence dans la variabilité intra-individuelle de la précision.

Les résultats univariés des tests intra-sujets indiquent que le facteur essai a un effet sur la précision [$F(1.37, 45)=4.39, p=.031$] [ddl corrigé] et sur la variance de la précision [$F(3, 99)=6.6, p<.001$]. Les tests de contrastes sur les mesures de la précision conduisent aux mêmes conclusions que les analyses précédentes (sans la variable groupe). Quelques modifications dans les valeurs observées sont à noter. Les résultats des tests de contrastes indiquent qu'il n'y a pas de différence significative de précision entre les essais AX et BY ni entre les essais BX et AY ($ps>.5$). La différence entre les essais BX et BY est significative [$F(1, 33)=6.18, p=.018$] ainsi

que celle entre les essais AY et BY [$F(1,33)=11.56, p=.002$]. La différence entre les essais AX et BX est significative [$F(1,33)=4.7, p=.037$] ainsi que celle entre les essais AX et AY [$F(1,33)=14, p=.001$]. L'observation des moyennes estimées indique que la précision des essais AX et BY est supérieure à celle des essais AY et BX. La précision des essais AX ($m=.970$) est supérieure à celle des essais BX ($m=.824$), et AY ($m=.867$). La précision des essais BY ($m=.977$) est enfin supérieure à celle des essais BX et AY.

Les résultats des tests de contrastes indiquent qu'il n'y a pas de différence significative dans la variance de la précision entre les essais AX et BY, entre les essais AY et BX ni entre les essais AX et BX ($p>.5$). La différence entre les essais BX et BY [$F(1,33)=6.69, p=.014$], celle entre les essais AY et BY [$F(1,33)=12.39, p=.001$] ainsi que celle entre AY et AX [$F(1,33)=10.63, p=.003$] sont toutes significatives.

L'observation des moyennes estimées indique que la VII de la précision des essais AY ($m=.079$) est supérieure à celle des essais AX ($m=.025$) et BY ($m=.016$). La VII de la précision des essais BX ($m=.050$) est supérieure à celle des essais BY.

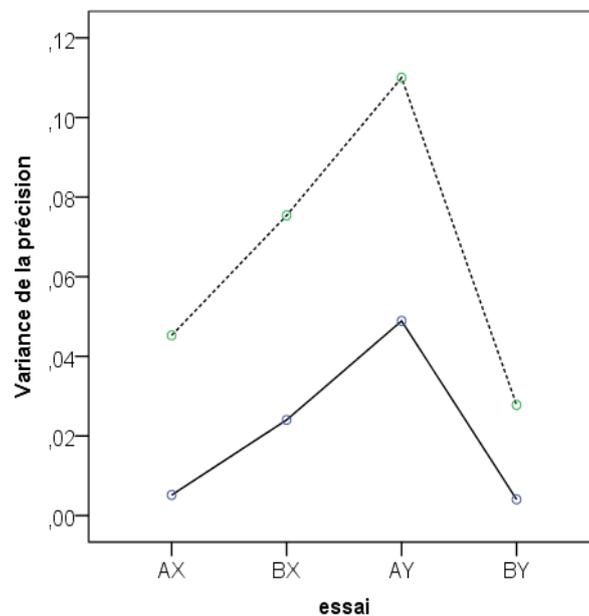


Figure 24: VII de la précision (varPR) en fonction du groupe et du type d'essai.

IT.REG (Trait plein), IT.IRR (pointillés).

- Analyse des TR (TRi) et de la VII des TR (cvTRi)

Les résultats des analyses multivariées montrent un effet significatif du groupe [$A(2, 28)=17, p<.001$] et du type d'essai [$A(6, 24)=33, p<.001$] sur les TR. L'effet d'interaction groupe \times type d'essai n'est pas significatif. Les résultats des tests univariés montrent un effet significatif du groupe sur le TR [$F(1, 29)=19.8, p<.001$] mais pas d'effet d'interaction groupe \times type d'essai. Le groupe « IT.REG » présente des TR inférieurs au groupe « IT.IRR » (différence : 940 msec). Les résultats des tests univariés montrent un effet du groupe, [$F(1, 29)=12.6, p<.005$] mais pas d'effet d'interaction groupe \times type d'essai sur cvTR. La VII des TR est plus importante pour le groupe « IT.IRR » (m=59) que « IT.REG » (m=38) (figure 25). Le groupe « IT.REG » présente donc des TR et une VII des TR inférieurs à ceux du groupe « IT.IRR ».

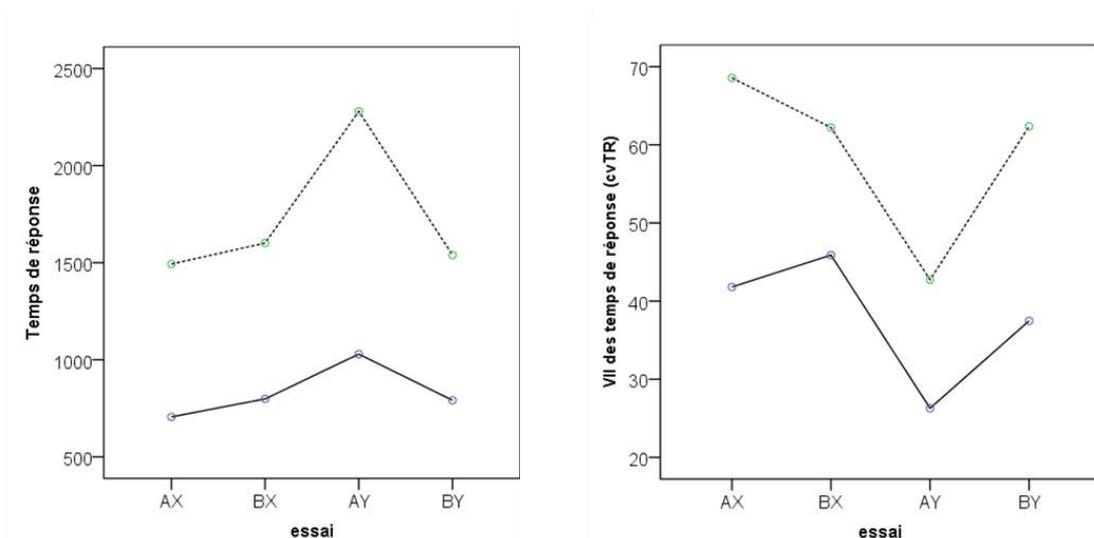


Figure 25 : TR et VII des TR (cvTR) en fonction du groupe IT.REG (trait plein) et IT.IRR (pointillés) et du type d'essai (AX, BX, AY et BY).

Les résultats des tests univariés indiquent un effet du facteur essais sur le TR [$F(1.97, 57)=11.13, p<.001$] [ddl corrigé] et l'inconsistance des TR (cvTR) [$F(3, 87)=3.51, p=.019$]. Les résultats des tests de contrastes indiquent une différence de TR et de cvTR entre : a) les essais AY et AX, respectivement, [$F(1, 29)=46.63, p<.001$], [$F(1, 29)=9.74, p=.004$]; b) les essais AY et BY, respectivement, [$F(1, 29)=31.6, p<.001$], [$F(1, 29)=4.42, p=.044$]; c) les essais AY et BX respectivement, [$F(1, 29)=9.84, p=.004$], [$F(1, 29)=7.42, p=.011$]. Le TR des essais AY (1654 msec) est supérieur à celui des trois autres types d'essai AX (1099 msec), BX (1199 msec) et BY (1165 msec) et le cvTR des essais AY (34.5) est inférieur à celui des trois

autres types d'essai AX (55.1), BX (54) et BY (50). Les conclusions sont similaires à celle de l'analyse précédente (sans la variable groupe) sauf la différence de cvTR qui n'était pas significative entre les essais AY et BY.

En résumé, les résultats relatifs aux effets du groupe et du type d'essai sur la performance révèlent des différences entre les groupes dans la VII de la précision, les TR et la VII des TR. Il n'y a pas de différence significative de précision entre les groupes. Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction entre le groupe et le type d'essai.

5. Discussion

La discussion de cette première étude porte sur le comportement cognitif d'un groupe de participants âgés dans une situation impliquant des processus de contrôle cognitif associés à des stratégies distinctes selon la situation de la tâche (contrôle proactif et contrôle réactif). Nous nous intéressons aux différences de comportements observées dans la résolution de la tâche en fonction des situations plus ou moins coûteuses. L'objectif est donc de savoir si cette différence de comportement peut s'observer à partir de la performance moyenne et de l'inconsistance de la performance intra-tâche.

L'ensemble des résultats des analyses de la performance au paradigme AX-cpt du groupe de participants, permet de discuter plusieurs points qui apportent des éléments de réponse sur a) les questionnements sur le fonctionnement du comportement cognitif des personnes âgées face à une tâche simple de contrôle cognitif, b) les questionnements sur l'apport de l'étude de la VII intra-tâche dans la connaissance du fonctionnement cognitif et c) la différence de pertinence des indicateurs de la VII des TR (écart-type et coefficient de variation).

5.1. Performance moyenne et inconsistance de la performance dans la résolution de la tâche AX-cpt chez la personne âgée

On sait que Braver et collaborateurs (Braver *et al.*, 2001, 2005) font l'hypothèse d'une altération, caractéristique du vieillissement normal, des projections dopaminergiques (DA) dans le cortex pré-frontal dorso-latéral (DL-PFC). La diminution de la performance (précision et TR) aux essais BX associée à une augmentation de la performance aux essais AY est associée à un système de maintien du contexte altéré. Une diminution de la performance (précision et TR) aux essais AY comparée aux essais BX témoigne d'un système de maintien du contexte intact (Braver *et al.*, 1999, 2001). A l'inverse, les performances BY sont similaires dans les modèles « intact » et « altéré ». La diminution de l'efficacité des fonctions du traitement du contexte à travers la simulation de la réduction des effets de DA dans le DL-PFC, produit ces effets sur le modèle comportemental. La diminution de la

performance aux essais BX témoigne donc d'une difficulté du système dans la mise en œuvre de processus de contrôle réactif. Il a été également suggéré (Braver *et al.*, 2001, 2002) qu'une variabilité dans la stratégie utilisée pouvait s'exprimer par l'utilisation d'une stratégie proactive (préparation de la réponse avant l'apparition de l'information pertinente) chez les jeunes adulte, et par l'utilisation d'une stratégie réactive chez les plus âgés (réactivation de l'information pertinente).

Les résultats de la première étude n'ont pas montré de lien entre l'âge et la performance moyenne ni entre l'âge et l'inconsistance de la performance au travers des items à la tâche AX-cpt. Cependant l'âge des participants du groupe varie entre 63 et 97 ans (3 participants seulement ont en-dessous de 70 ans) et l'effectif est de petite taille (N=35). Il n'a donc pas été possible de contraster les participants (âgés vs très âgés) comme cela est souvent fait dans les études qui ont montré que l'ampleur de l'inconsistance augmentait de manière très importante de 70-75 ans jusqu'à un âge avancé (Bielak *et al.*, 2010 ; Lövdén *et al.*, 2007 ; MacDonald *et al.*, 2003). Nos résultats sur l'effet de l'âge ne contredisent donc pas les conclusions de ces dernières études, mais indiquent seulement que les différences observées ne semblent pas être liées à l'âge dans ce groupe de participants âgés.

Les résultats des analyses que nous avons effectuées indiquent que la précision est plus faible pour les deux conditions présentant une demande élevée de processus de contrôle cognitif (BX et AY), comparée à la précision des situations moins exigeantes en termes de processus de contrôle (AX et BY). Ces premiers résultats valident les attentes liées à la manipulation de la tâche qui définit les essais BX et AY comme les deux essais inducteurs de biais, et donc une difficulté supérieure à celle des essais AX et BY, cette difficulté supérieure étant liée à la demande importante de mise en œuvre de contrôle cognitif. Cependant aucune différence de précision n'est observée entre ces deux situations, alors que les deux situations impliquent des processus de contrôle distincts. AY est associé à une stratégie de contrôle proactif et BX est associé à une stratégie de contrôle réactif. L'analyse de la précision ne permet donc pas de différencier l'efficacité des processus distincts de contrôle (proactif et réactif) dans ce groupe de participants.

Seul un ralentissement associé à l'essai AY est observé, et n'apparaît donc pas pour l'essai BX. Le comportement observé à partir des TR montre une différence associée au type de contrôle induit par les caractéristiques de la tâche. Lorsqu'une

forte attente est induite pas le contexte (indice A, contrôle proactif) et que cette attente doit être corrigée par le traitement de la sonde non cible Y, une augmentation des TR est observée, ce qui suggère un maintien du contexte pour le groupe de participants âgés. En effet, l'augmentation des TR et la diminution de la précision aux essais AY sont interprétées comme étant associées au maintien du contexte intact (Braver *et al.*, 1999 ; 2001).

Un système de maintien altéré devrait se traduire par une augmentation de la performance aux essais AY et une diminution de la performance aux essais BX ce qui n'est pas observé ici au niveau du groupe. L'hypothèse du maintien du contexte altéré est cependant envisagée par les auteurs (Braver *et al.*, 2001) pour rendre compte des effets du vieillissement cognitif sur les processus de contrôle. De plus, le plus faible niveau d'inconsistance des TR aux essais AY comparé aux autres essais, indique que la stabilité des TR est supérieure lorsque la situation implique un niveau de contrôle élevé. Cette diminution de l'inconsistance des TR n'est pas observée sur les essais BX, ce qui indique que lorsque la stratégie de contrôle proactif est induite par la tâche, une stabilité supérieure des TR est observée pour ce groupe de participants. Ce plus faible niveau d'inconsistance est associé à un maintien élevé du contexte (diminution de la performance (TR et PR) pour cette même situation).

Les analyses portant sur la VII de la performance font apparaître plusieurs résultats intéressants. La VII de la précision est supérieure pour les essais AY comparés aux essais AX et BY, et supérieure pour les essais BX comparés aux essais BY. Pour les essais non-cibles, la VII de la précision est supérieure aux essais qui présentent un biais (AY et BX) comparés aux essais contrôles (BY). Toutefois ce niveau d'inconsistance élevée peut s'expliquer par la mesure effectuée sur les données. En effet, la précision associée aux essais AY et BX est plus faible, ce qui induit de la variance, alors que la précision aux essais AX et BY est très élevée, ce qui induit une moindre variance. Le taux de réponses correctes aux essais AX et BY est de 98% et un effet plafond est observé à ces essais. Au vu de ces données, l'étude de l'inconsistance des TR semble être plus pertinente que celle de la précision pour étudier l'inconsistance de la performance.

Alors qu'il n'y a pas de différence entre les essais lorsque la VII des TR est mesurée par l'écart-type des TR, une différence significative apparaît entre les essais AY d'une part, les essais cibles AX et non-cibles BX d'autre part, lorsque la VII des

TR est mesurée par le coefficient de variation des TR individuels. Ce résultat semble important dans la méthodologie des mesures de VII au travers des essais. L'écart-type est un indicateur de variabilité influencé par le TR moyen. Ces résultats permettent de répondre à un de nos objectifs s'agissant de la méthodologie de l'étude de la VII dans le choix des indicateurs de la VII de la performance.

L'étude de l'effet du temps de présentation du signal, montre un effet sur la VII des TR mesurée par l'écart-type des TR seulement. La condition « signal » n'a pas d'effet sur la performance individuelle moyenne (précision moyenne et TR moyen), ni sur la VII de la précision ni sur la VII des TR lorsque le TR est contrôlé (cvTR). Ces résultats sur l'effet de la condition « signal » sur la performance sont en partie consistants avec ceux de l'étude de Paxton *et al.* (2006). Dans cette étude en effet, il n'y avait pas d'effet de l'accessibilité du signal sur la précision. Ces auteurs ont cependant montré que les personnes âgées étaient plus rapides lorsque l'accessibilité du signal était faible, ce qui, toujours selon les auteurs, constitue un résultat contre-intuitif. L'effet de la condition signal sur l'ET des TR n'est pas répliqué lorsque le TR est contrôlé (par le coefficient de variation). Cette condition ne sera donc pas retenue dans la suite de ce travail de recherche.

Les corrélations entre les indicateurs de performance montrent que pour les essais BX, les mesures relatives aux TR ne sont pas liées aux mesures de la précision. Ces résultats révèlent une spécificité des essais BX sur le lien entre la performance évaluée par les TR et celle évaluée par la précision. Il semblerait que ces deux indicateurs témoignent différemment de la performance pour les essais de ce type (contrôle réactif). De plus, les corrélations entre indicateurs ont aussi montré que l'augmentation de la précision aux essais AY était associée à une diminution des TR. Cependant pour les essais AY, le lien entre le TR et le cvTR n'est pas révélé par les corrélations, ce qui signifie que ce ne sont pas les participants les plus lents qui montrent une variabilité des TR plus faible. Lorsque la tâche est complexe (situation de contrôle cognitif), l'analyse de la performance aux essais BX a montré que l'augmentation du TR moyen est liée à l'augmentation de l'inconsistance des TR intra-tâche. Cette distinction semble être en faveur d'une difficulté qui se manifeste différemment pour résoudre ces deux types d'essais associés aux deux situations les plus exigeantes de la tâche.

L'augmentation des TR à l'essai AY est donc observée au niveau du groupe alors qu'une diminution de la VII des TR est également observée au niveau du groupe, cependant les corrélations entre les mesures des performances aux essais AY ont indiqué qu'il n'y avait pas de lien entre le TR moyen et la VII des TR (cvTR) ce qui n'est pas le cas des essais BX. Ce résultat est tout à fait intéressant concernant le fonctionnement du système cognitif. Nous pouvons expliquer cette différence d'association du niveau de performance moyen et de l'inconsistance de la performance, pour les essais AY et BX en se référant au modèle de Braver *et al.*, (2001, 2005). Le modèle proposé par ces auteurs prédit que la performance aux essais AY diminue (ce qui est induit par un niveau d'attente élevé) et que la performance aux essais BX augmente (resp. diminue) lorsque le système de maintien du contexte est intact (resp. est altéré). La VII des TR faible, observée pour les essais AY pourrait donc témoigner d'un système cognitif sain. La VII pourrait alors témoigner de l'intégrité du système cognitif lorsqu'elle est faible et de la défaillance du système cognitif lorsqu'elle est élevée. Cette conclusion suggère que l'augmentation de la VII intra-tâche pour les conditions exigeantes en processus de contrôle cognitif n'est pas systématique et qu'elle témoignerait davantage de l'intégrité cognitive que de la complexité de la tâche à résoudre (contrairement à la performance moyenne). L'étude du lien entre la VII et le niveau de performance demande une vigilance particulière en termes de méthodologie et d'interprétation dans l'analyse des résultats.

Ces résultats appuient l'idée selon laquelle il est possible de contrôler l'effet du TR sur l'indicateur de VII par l'utilisation du coefficient de variation, et pourraient être déterminants du point de vue de l'étude de la VII. Le lien entre les mesures d'inconsistance et de la performance moyenne diffère donc selon les essais et le type de mesure effectué (coefficient de variation des TR ou écart-type des TR), il semblerait que la VII de la précision ne soit pas un indicateur associé à la diminution de la performance moyenne. De plus, comme cela a été montré ce lien entre le niveau de la performance et la VII de la performance n'est pas le même en fonction des exigences de la tâche, résultat pleinement en accord avec les conclusions de Schmiedek *et al.* (2009).

L'ensemble de ces résultats montre que le système cognitif ne répond pas de la même manière pour ces deux types de situations interférentes, ce qui est en accord

avec la mise en œuvre de deux types de contrôle distincts pour répondre aux deux types de situations.

Les résultats de la classification hiérarchique des indicateurs de performance, permettent de mettre en évidence la spécificité de la performance aux essais BX comparée à celle des autres essais. De plus, les groupements des indicateurs de performance indiquent que la mesure de précision ne serait pas informative sur l'efficacité des processus pour faire face aux situations inductrices de biais (essais BX et AY), mais davantage à une différence de stratégie liée à la préparation d'une réponse selon l'indice « A » ou « B ». Des processus cognitifs pourraient donc être différemment engagés pour répondre en fonction de la lettre signal au-delà du type d'essai. Ces processus pourraient aussi être différemment atteints lors du vieillissement ou d'une pathologie liée à l'âge, ce qui suggère une autre piste qui pourrait être exploitée par la passation du paradigme AX-cpt.

L'ensemble des résultats de Braver et collaborateurs (Braver *et al.*, 2001, 2005) et des résultats de cette présente étude sont consistants avec l'idée selon laquelle l'âge augmenterait la sensibilité du système cognitif aux situations qui nécessitent la mise en œuvre de processus de contrôle réactif. Cette sensibilité croissante avec l'âge, se traduirait par une difficulté supérieure à résister à l'interférence lorsqu'il s'agit d'inhiber une réponse majoritairement présente initiée par le contexte. La défaillance dans le maintien de la préparation de la réponse pourrait se traduire par une performance moins altérée aux essais AY. Le ralentissement est associé à une augmentation de l'inconsistance des TR pour les essais BX ce qui n'est pas le cas des essais AY ; de plus, l'augmentation de l'inconsistance de la précision est associée à une augmentation de l'inconsistance des TR (cvTR) aux seuls essais AY, cela rend donc compte de l'importance de tenir compte des mesures d'inconsistance dans des situations de contrôle cognitif.

5.2. Inconsistance et statut cognitif

Les premiers résultats indiquent donc que le maintien du contexte serait préservé au niveau du groupe (diminution de la performance aux essais AY). Cependant, nous nous sommes basés sur les conclusions de Braver *et al.*, 1999, 2001, pour distinguer trois sous-groupes de participants des plus préservés au moins préservés. Les

participants ne commettant pas d'erreur ni à BX, ni à AY sont dits «très préservés », les participants commettant plus d'erreurs à AY qu'à BX sont dits « préservés » et les participants commettant plus d'erreur à BX qu'à AY sont dits « moins préservés ». La comparaison des TR moyens et de l'inconsistance des TR aux essais BX et AY selon le groupe de participants, a montré qu'il n'y avait pas de différence de vitesse de réponse entre ces trois groupes et une augmentation de l'inconsistance des TR (etTR et cvTR) du groupe « très préservé » au groupe « moins préservé ». Cependant lorsque le TR moyen aux essais BX et AY est contrôlé, l'effet du groupe sur l'inconsistance mesurée par l'etTR n'est plus significative, le cvTR semble donc être un indicateur de la VII plus fiable que l'etTR,

Ces résultats indiquent d'une part que même les participants les moins préservés présentent un ralentissement des TR lié à la mise en œuvre de contrôle proactif, et d'autre part que l'inconsistance des TR est plus importante pour les participants les moins préservés. Si l'on considère l'hypothèse de Braver *et al.*, (1999, 2001) qui suggère qu'une diminution de la performance aux essais BX comparés aux essais AY est associée à une diminution de l'efficacité du traitement du contexte dans le paradigme AX-cpt, nous pouvons rajouter ici que plus la représentation du contexte paraît altérée, plus l'inconsistance des TR augmente. Ces conclusions présentent donc un argument en faveur de l'inconsistance comme indicateur du fonctionnement cognitif au-delà de la performance moyenne. Nous validons alors l'hypothèse selon laquelle les individus âgés associés à une représentation du contexte altérée (plus grand nombre d'erreurs aux essais BX comparés aux essais AY et inversement pour les individus associés à une représentation du contexte préservée), présentent un niveau d'inconsistance des TR plus important que les individus associés à une représentation du contexte préservée. De plus, on note que l'inconsistance des TR permet de distinguer les individus selon le niveau de capacité à traiter l'information du contexte dans des situations exigeantes en contrôle cognitif, ce qui n'est pas le cas du TR moyen. L'inconsistance de la performance serait donc un indicateur plus puissant que la performance moyenne pour distinguer les individus selon le niveau d'efficacité cognitive.

5.3. Etude de l'instabilité temporelle et paradigme AX-cpt

Les résultats de l'analyse de l'instabilité temporelle ont permis de montrer que plus la valeur du MSSD est importante plus son estimation est imprécise. L'estimation de l'irrégularité des fluctuations intra-individuelles des TR par l'intervalle de confiance du MSSD (IC.MSSD) paraît pouvoir caractériser un aspect important du fonctionnement cognitif tel que l'efficacité évaluée par la réalisation de la tâche AX-cpt.

La formation de deux groupes, basée sur la régularité des fluctuations intra-individuelles des TR, a permis de mettre en évidence des différences en termes de TR, de VII de TR, et de VII de précision. Et aucune différence de précision moyenne selon la régularité des fluctuations intra-individuelles des TR n'a pu être mise en évidence. Ces résultats révèlent donc ici une différence de VII de la précision alors que la précision moyenne est similaire entre les deux groupes. Ces résultats nous interpellent donc sur l'apport de l'étude de la VII de la précision comparé à celui de l'étude de la précision moyenne alors que ces deux indicateurs sont fortement corrélés.

Globalement le groupe dont l'instabilité temporelle des TR est irrégulière présente des performances inférieures à celles du groupe dont l'instabilité temporelle des TR est régulière. Ces résultats portant sur l'instabilité temporelle sont novateurs car ils indiquent que ce critère de VII de la performance permet de caractériser les individus en fonction de leur niveau d'efficacité cognitive.

Etude 2

1. Introduction

Nous avons examiné dans la première étude, l'effet chez la personne âgée des manipulations expérimentales sur la performance moyenne et sur la VII de la performance à la tâche AX-cpt. Les observations effectuées ont montré que les relations entre la performance moyenne (précision, TR) et la VII au travers des items (inconsistance et coefficient de variation) pouvaient varier selon le type d'essai présenté. Nous avons en particulier constaté que le coefficient de variation des TR fournit une mesure de variabilité des TR indépendante de la performance moyenne (précision et TR). Nous avons aussi souligné l'intérêt, dans l'étude des relations entre la VII et le niveau d'efficacité cognitive chez la personne âgée, de l'instabilité temporelle mesurée par le MSSD et de la stabilité au travers des items de cette mesure d'instabilité temporelle.

L'étude qui suit prolonge l'étude précédente par un suivi longitudinal d'une durée totale de 12 mois d'un groupe de participants adultes âgés de plus de 60 ans. Elle comprend une étape initiale et plusieurs sessions d'évaluation de l'efficacité du contrôle cognitif.

La première étape est une phase d'évaluation de l'efficacité cognitive des participants à l'aide d'une batterie d'épreuves cognitives mesurant les fonctions mnésiques (mémoire verbale, mémoire visuo-spatiale), les fonctions attentionnelles et les fonctions exécutives (inhibition, alternance, fluence verbale alternée). Les observations effectuées lors de cette première étape seront analysées à deux niveaux : le niveau de performance d'une part, le niveau de variabilité intra-individuelle inter-tâches ou dispersion de la performance d'autre part.

Cette première étape est suivie de l'évaluation répétée des fonctions de contrôle cognitif avec une version du paradigme AX-cpt. Elle comprend trois phases de mesure de la performance : a) six fois de suite, tous les 15 jours ; b) une nouvelle fois 3 mois plus tard ; c) une dernière fois 6 mois plus tard. La flexibilité attentionnelle des participants est mesurée avec le *Trail Making Test* de Reitan (1955) lors des deux dernières rencontres (i.e., à 3 mois puis à 6 mois) afin de

disposer de mesures distales permettant d'apprécier l'éventuel contenu additionnel des indicateurs de la VII de la performance à la tâche AX-cpt.

2. Objectifs et hypothèses

2.1.1. Dispersion des mesures et niveau d'efficacité cognitive

L'administration aux participants de plusieurs tests cognitifs à leur entrée dans l'étude a pour objectif d'évaluer leur niveau d'efficacité cognitive dans les domaines de la vitesse de traitement, de la mémoire, de l'attention et des fonctions exécutives. L'objectif est d'étudier ultérieurement la relation entre ces diverses mesures, leur dispersion (VII inter-tâches) et la performance (niveau et variabilité intra-) des participants à la tâche AX-cpt.

Nous faisons l'hypothèse que la dispersion est un indicateur spécifique de l'efficacité cognitive et que l'augmentation de la dispersion est liée à une diminution de l'efficacité cognitive. Si cette hypothèse est validée, la question reste posée de savoir si, et dans quelle mesure, l'information liée à la dispersion des mesures apporte une information autre que celle qu'apporte le niveau moyen de performance.

2.1.2. Etude longitudinale - passations répétées de la tâche AX-cpt

2.1.2.1. Objectifs

Nous nous proposons ici d'étudier le comportement des participants à la tâche AX-cpt. Deux parties seront distinguées pour l'analyse des résultats. La première concerne l'analyse de la performance au niveau du groupe de participants. La seconde concerne l'analyse de la performance individuelle.

Dans la première partie nous décrirons les effets du type d'essai et de la session d'évaluation sur la performance moyenne et sur la VII de la performance au travers des essais et au travers des 6 sessions espacées de 15 jours. Nous nous intéresserons également aux relations entre les différentes formes de variabilité étudiées (inconsistance et instabilité temporelle au travers des essais, variabilité intra-individuelle au travers des sessions). Notre objectif est aussi d'évaluer l'impact des mesures effectuées à l'entrée dans l'étude et de la dispersion, sur le niveau de

performance et la variabilité intra-individuelle de la performance à la tâche AX-cpt, au travers des essais et au travers des sessions.

La seconde partie sera dédiée à la description des profils de performance individuels. La description de profils individuels a pour objectifs de fournir des indications sur la variabilité interindividuelle de la performance en termes de sensibilité aux contraintes de la tâche et en termes d'états cognitifs latents. Cette description permet de regrouper les individus présentant des similitudes dans leurs profils individuels, et de mettre ces similitudes en relation avec les caractéristiques des individus. Cette perspective donne une nouvelle orientation à l'étude de la variabilité entre les individus qui permet de décrire des changements qualitatifs et non plus seulement quantitatifs.

2.1.2.2. Hypothèses

Effets du type d'essai sur la performance

Nous nous attendons à retrouver les effets du type d'essai (effet d'attente pour les essais AY, effet d'inhibition pour les essais BX) sur la performance des participants. On s'attend ainsi aux effets suivants : a) lorsque la lettre A apparaît (signal cible), l'attente par le système cognitif de la sonde-cible X devrait se traduire par une diminution de la performance lorsque la sonde Y (non-cible) apparaît, comparée à la performance des essais BY ; b) lorsque la sonde X est précédée du signal non-cible B, pour donner la réponse correcte (non-cible), il s'agit de maintenir correctement en mémoire le signal B et d'inhiber le signal cible A associé à X, dans cette situation, la performance devrait diminuer en comparaison à la performance des essais BY.

La diminution de la performance entraînée par les items non-cibles devrait être semblable à celle évaluée lors de la première étude. Toutefois, la modification de la proportion des essais dans la tâche pourrait modifier les résultats précédemment obtenus. L'effet sur la précision devrait être plus faible mais les processus d'attente et d'inhibition (essais AY et BX) devraient se traduire par une augmentation des TR (comparé aux TR aux essais BY).

Nous nous attendons également à ce que le niveau d'efficacité évalué à l'entrée dans l'étude ait un impact variable selon le type d'essai, sur la performance. Les participants présentant un faible niveau de résistance à l'interférence devraient

montrer plus de difficulté à résoudre les essais inducteurs de biais (inhibition et attente), l'écart entre la performance aux essais AY et BX et les essais plus simples devrait être plus important chez les participants présentant un faible niveau de résistance à l'interférence. On s'attend également à ce que les sujets les plus lents et/ou ceux ayant un plus faible niveau de performance aux tâches de mémoire épisodique (prise de décision plus difficile lorsque le signal n'est pas correctement encodé en mémoire) et visuo-spatiale, soient moins rapides et fassent plus d'erreurs que les participants plus efficaces dans ces domaines. La variabilité intra-tâche des TR devrait également être plus importante pour les premiers en comparaison aux seconds.

Nous nous attendons également à ce que le niveau de dispersion ait un impact sur la performance à la tâche AX-cpt, les participants associés à un niveau de dispersion élevé, pourraient présenter un plus fort niveau d'inconsistance intra-tâche, et un niveau de performance plus faible aux essais inducteurs de biais comparé aux essais plus simples.

En outre, l'analyse des profils individuels devrait révéler des changements de comportement intra-tâche (i.e., au travers des essais). Le changement de comportement pourrait être lié à une fluctuation de l'attention au cours du temps (au travers des essais de la tâche), et cette fluctuation pourrait être plus importante pour les individus présentant un niveau d'efficacité plus faible (fluctuation mésadaptative). Cette fluctuation pourrait aussi s'avérer être une caractéristique normale de l'individu qui ne serait pas liée à une diminution de l'efficacité cognitive mais plutôt à une adaptation à la tâche (fluctuation adaptative). La mise en relation des profils individuels et l'efficacité cognitive pourrait apporter un éclairage sur ces questions liées à la variabilité de la performance intra-tâche et à la dispersion.

3. Méthode

3.1. Participants

Le groupe de participants est constitué de 34 personnes volontaires (6 hommes, 28 femmes) âgées de 61 à 97 ans (âge moyen du groupe= 77,11) qui présentent un niveau d'étude moyen de 12,57 années de scolarisation. Les participants ont été recrutés en foyer logement, en maison de retraite et à l'université du temps libre. Ils ont tous un score au Mini-Mental State Examination (MMSE; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975; Folstein *et al.*, 2001) supérieur à 26 (score moyen=29.2). Aucun participant ne présente de pathologie neurologique ou de trouble cognitif avéré.

3.2. Matériel et procédure

La première phase de l'étude consiste en un bilan cognitif individuel effectué dès l'entrée dans l'étude (temps t_0). Les participants sont ensuite rencontrés individuellement à huit reprises pour effectuer la tâche AX-cpt :

- a) de t_1 à t_6 soit 6 fois de suite, tous les 15 jours (temps en jours : moyenne=15.7, écart-type=1.2) ;
- b) t_7 : trois mois après t_6 (temps en jours : moyenne=94.6, écart-type=14.9) ;
- c) t_8 : six mois après t_7 (temps en jours : moyenne=185.5, écart-type=8.7).

3.2.1. Tests cognitifs

Mémoire épisodique verbale – Elle est mesurée avec l'épreuve des 15 mots de Rey (RAVLT : « *REY Auditory Verbal Learning Test* », Rey, 1964). La RAVLT est une épreuve d'apprentissage de liste de mots et de rappel différé. Une liste de 15 mots (liste A) est lue à voix haute 5 fois de suite au participant par l'expérimentateur au rythme régulier de 1 mot par seconde. Le participant dispose de 1 minute 30 secondes pour restituer oralement les mots de la liste après chaque lecture. Les 5 premières lectures constituent la phase d'apprentissage. La somme du nombre de mots correctement restitués aux 5 lectures successives de la liste constitue le score

d'apprentissage (score allant de 0 à 75). Une liste interférente de 15 mots différents (liste B) est ensuite lue au participant qui doit la rappeler immédiatement. Le participant rappelle ensuite les mots de la première liste (liste A, score de 0 à 15). Un second rappel différé (liste A, score de 0 à 15) est effectué 20 minutes après une tâche distractive. La dernière étape est la phase de reconnaissance (score de 0 à 15). Le participant doit reconnaître les mots de la première liste dans un texte lu par l'expérimentateur. A chaque étape du test on relève le nombre de mots correctement rappelés.

Empan verbal – On utilise ici une tâche d'empan de chiffres qui permet l'évaluation de la boucle phonologique car elle nécessite la mise en œuvre à la fois du stock phonologique et du processus de répétition articulatoire. L'expérimentateur lit des listes de chiffres à voix haute à un rythme régulier de 1 chiffre par seconde. La première liste est constituée de 2 chiffres, la seconde liste, de 3 chiffres, la troisième, de 4 chiffres, etc. Le sujet doit rappeler dans l'ordre les chiffres entendus ; deux essais par liste sont proposés si le participant commet une erreur. L'empan est le plus grand nombre de chiffres correctement rappelés dans l'ordre de présentation (empan endroit) ou dans l'ordre inverse de présentation (empan envers), cette dernière situation permettant une évaluation plus spécifique de la MDT.

Empan visuo-spatial – On emploie le test des blocs de Corsi, un test classique de mémorisation de localisations spatiales, pour évaluer le calepin visuo-spatial. Le principe est le même que pour l'empan verbal, le participant devant mémoriser des séries de blocs allant du plus petit nombre de blocs au plus grand jusqu'à ce qu'il échoue deux fois successives. L'expérimentateur montre au participant des blocs sur une feuille à un rythme régulier de 1 seconde par bloc. Ce dernier doit en retour montrer les mêmes blocs dans le même ordre pour l'empan endroit et dans l'ordre inverse pour l'empan envers.

Les fonctions exécutives sont mesurées avec les tests suivants :

Test de fluence verbale alternée – Il s'agit d'un test d'évocation lexicale qui fait intervenir des processus de génération de nouveaux plans de récupération en mémoire (pas de schéma préexistant) et nécessite le maintien de la représentation du programme de réalisation et la capacité d'inhiber les interférences. La tâche du participant est d'alterner oralement un maximum de prénoms et de fruits sans faire de répétition pendant une durée de deux minutes. L'alternance permet ici, une mesure

de la flexibilité cognitive. Le score est le nombre de mots correctement évoqués sans répétition et sans persévération (cas de non alternance).

Test de Stroop – Ce test permet une mesure de la résistance à l'interférence. La réalisation de ce test fait intervenir des processus d'inhibition sur des informations perçues mais non pertinentes, et sur des réponses incorrectes bien que prépondérantes (liées à l'activité de lecture largement automatisée). Trois planches sont proposées au participant, la première est la planche « dénomination » : la tâche est l'identification de rectangles de couleurs différentes (bleu, rouge, vert). La deuxième est la planche « lecture » : la tâche est la lecture des noms de couleurs écrits en noir. La dernière planche « interférence » est la planche expérimentale présentant les items incongruents c'est-à-dire les noms de couleurs écrits dans une encre de couleur différente. La tâche du participant est d'identifier la couleur de l'encre avec laquelle est écrit le mot. Chaque planche est constituée de 100 items et précédée d'une ligne d'essai de 10 items. Les scores sont les TR pour chaque planche et le nombre d'erreurs commises. Le participant a la possibilité de corriger ses erreurs lorsqu'il en prend conscience durant l'épreuve immédiatement après avoir formulé une mauvaise réponse (erreurs corrigées).

Trail Making Test (TMT) - Cette épreuve de flexibilité attentionnelle (Reitan, 1955) est réalisée dans ses versions A et B, la partie B nécessite l'alternance d'actions compétitives. La tâche se décompose donc en deux parties, pour la partie A (TMTA), 25 chiffres de 1 à 25 sont répartis dans le désordre sur l'ensemble d'une feuille au format A4. Le participant doit relier les chiffres entre eux, par ordre croissant du plus petit au plus grand, le plus rapidement possible et sans faire d'erreur. Dans la partie B (TMTB), 13 chiffres (de 1 à 13) et 12 lettres (de A à L) sont répartis de manière désordonnée sur la feuille. Le participant doit relier les chiffres et les lettres entre eux en alternant le traitement des « chiffres » et celui des « lettres » (1-A-2-B-3-C...). Pour le TMTA et le TMTB une phase d'entraînement de 5 items est effectuée par les participants avant la phase test. On mesure le temps de réalisation de la partie A et de la partie B du test (sec.). On relève le nombre et le type d'erreur, les erreurs de persévération (deux chiffres ou deux lettres reliés entre eux) et les erreurs d'ordre (non-respect de l'ordre croissant des chiffres ou de l'ordre alphabétique des lettres).

Batterie rapide d'évaluation frontale- Nous avons enfin employé la BREF (Dubois *et al.*, 2000), une batterie rapide d'évaluation des fonctions frontales classiquement

utilisée dans le dépistage des troubles des fonctions exécutives. Cette batterie est constituée des six sous-tests suivants : conceptualisation (similitudes), flexibilité (fluidité lexicale), programmation (séquences motrices), sensibilité aux interférences (consignes contradictoires), contrôle inhibiteur (Go - No Go) et autonomie environnementale (comportement de préhension). Elle donne lieu à un score sur 18 points.

3.2.2. *Paradigme AX-cpt*

La tâche employée dans cette étude est une version du paradigme AX-cpt (figure 11). Elle est informatisée et administrée individuellement aux participants. A la différence de la tâche employée dans l'étude 1, le pourcentage des essais dans un bloc de 100 essais est de 40% pour les essais AX (étude 1 : 70%) et de 20% pour les essais BX, AY et BY (étude 1 : 10% pour chaque type d'essai). La durée de présentation du signal est constante et égale à 1 seconde. Les TR (msec.) ainsi que la précision sont enregistrés à chaque réponse.

A chaque session, la tâche est précédée d'une phase d'entraînement d'une dizaine d'essais qui permet de s'assurer de la bonne compréhension de la consigne de la tâche. Le participant répond ensuite aux 100 essais qui constituent la phase expérimentale. Les analyses effectuées et décrites ci-après portent sur les observations effectuées au cours de la phase expérimentale.

4. Résultats

4.1. Efficiences cognitive et dispersion de la performance lors du bilan d'entrée

Nous avons rappelé dans l'introduction théorique de ce travail que la dispersion (ou VII inter-tâches) est une forme de variabilité de la performance qui semble augmenter avec l'avancée en âge et pourrait être un indicateur de l'efficiences cognitive. Nous analyserons donc la dispersion des performances aux tests cognitifs administrés aux participants à leur entrée dans l'étude. Nous étudierons d'abord la relation entre le niveau de dispersion et la performance aux différents tests cognitifs. Nous nous intéresserons ensuite aux relations entre la dispersion et les différentes dimensions cognitives évaluées lors du bilan et comparerons ces relations à celles observées entre la performance moyenne et les dimensions cognitives évaluées lors du bilan.

4.1.1. Statistiques descriptives

Les scores obtenus par le groupe de participants aux tests cognitifs réalisés à t_0 apparaissent dans les tableaux qui suivent (tableaux 6, 7, 8, 9, 10 et 11).

- Evaluation de la mémoire :

Les écarts-types sont assez faibles, au total proche de 1 pour les scores de mémoire verbale et visuo-spatiale, ce qui indique une faible dispersion des performances du groupe. Cependant on observe que l'écart entre le maximum et le minimum varie entre 5 et 3 éléments selon la tâche ce qui indique tout de même une certaine variabilité de la performance entre les individus (tableau 6).

Tableau 6 : Scores de l'échantillon aux tests d'empan verbal (chiffre endroit et envers) et d'empan visuo-spatial (Corsi endroit et envers).

| | empan verbal | | empan visuo-spatial | |
|-------------------|-----------------|----------------|---------------------|--------------|
| | chiffre endroit | chiffre envers | Corsi endroit | Corsi envers |
| moyenne | 5,51 | 4,17 | 4,57 | 4,29 |
| écart-type | 1,07 | 0,95 | 0,88 | 0,93 |
| max | 8 | 7 | 6 | 7 |
| min | 3 | 3 | 3 | 2 |

Les scores d'apprentissage au test des 15 mots de REY (5 phases de rappels successives) du groupe (tableau 7) sont assez dispersés (écart-type=11.28), et l'étendue des réponses du groupe est assez élevée (37 mots au total). Les scores de rappel 1 et 2 sont également dispersés (respectivement, écart-type=3.38 ; écart-type=3.39), l'observation du maximum et du minimum du nombre de mots correctement rappelés indique que dans le groupe de participants le score le plus faible de rappel est égal à 2 mots sur 15 tandis que le score le plus élevé est de 15 mots sur 15. Ces observations suggèrent que la capacité de rappel des individus varie au sein du groupe. Les scores de reconnaissance des individus du groupe sont plus élevés (moyenne=13.43 mots sur 15) et semblent être moins dispersés (écart-type=1.94), mais on remarque que la performance varie entre 7 et 15 mots reconnus, ce qui indique des performances de reconnaissance plutôt faibles au sein du groupe de participants.

Tableau 7 : Scores de l'échantillon au test des 15 mots de REY : Apprentissage sur 75 points, rappel 1 après lecture de liste interférente sur 15 points, rappel 2 différé après tâche interférente (20 minutes) sur 15 points et reconnaissance à partir de la lecture d'un texte sur 15 points.

| | 15 MOTS DE REY | | | |
|-------------------|------------------|----------|----------|----------------|
| | apprentissage/75 | rappel 1 | rappel 2 | reconnaissance |
| moyenne | 45,63 | 9,65 | 9,58 | 13,43 |
| écart-type | 11,28 | 3,38 | 3,39 | 1,94 |
| max | 61 | 15 | 15 | 15 |
| min | 24 | 2 | 2 | 7 |

- Evaluation des fonctions exécutives: Attention, flexibilité, inhibition

Le Trail Making Test:

La performance du groupe au TMT (tableau 8) indique un nombre d'erreurs faible, on remarque que le nombre maximum d'erreurs d'ordre au TMTB est

supérieur à celui du TMTA (respectivement, 3 et 1) ce qui va dans le sens d'une difficulté plus grande dans la résolution du TMTB. Le TR moyen du groupe est également plus important au TMTB qu'au TMTA (respectivement, $m=151,75$ secondes et $m=54,03$ secondes). L'écart-type des TR du groupe au TMTA est supérieur à la moitié du TR moyen du groupe ($CV=63$) ce qui indique une différence de vitesse de traitement importante entre les individus (étendue de la performance= 189 secondes, i.e. 3 minutes). L'observation de l'écart-type et de l'étendue des temps de réponses au TMTB indique également une hétérogénéité de la performance du groupe de participants (l'écart-type est près de la moitié de la moyenne avec une différence de 300 secondes entre le score le plus faible et le plus élevé, i.e. 5 minutes, $CV=47$). On note également des erreurs de persévération qui indiquent des échecs dans la mise en œuvre des processus de flexibilité attentionnelle pour certains participants.

Tableau 8 : Scores de l'échantillon aux mesures des capacités de flexibilité attentionnelle: Trail Making test A (TMTA) et B (TMTB), TR : TR en secondes, erreur : nombre d'erreurs d'ordre, persévération : nombre d'erreurs de persévération.

| | TMTA | | TMTB | | |
|-------------------|-------|--------|--------|--------|---------------|
| | TR | erreur | TR | erreur | persévération |
| moyenne | 54,03 | 0,03 | 151,75 | 0,46 | 0,51 |
| écart-type | 34,19 | 0,17 | 71,89 | 0,7 | 0,89 |
| max | 207 | 1 | 360 | 3 | 3 |
| min | 18 | 0 | 56 | 0 | 0 |

Fluence verbale alternée:

On remarque des erreurs peu nombreuses dans la réalisation de la tâche de fluence verbale alternée au sein du groupe de participants (tableau 9). Peu de persévérations sont commises par les participants. Cependant, les scores sont assez dispersés (écart-type= $6,13$) et l'étendue des scores du groupe est assez élevée (26 mots).

Tableau 9: Scores de l'échantillon au test de fluence verbale alternée : alterner prénoms et fruits en deux minutes, score : nombre de réponses correctes, répétition : nombre d'erreurs de répétition, intrusion : nombre d'erreurs d'intrusion, persévération : nombre d'erreurs de persévération (cas de non-alternance).

| | fluence alternée | | | |
|-------------------|------------------|------------|-----------|---------------|
| | score | répétition | intrusion | persévération |
| moyenne | 23,06 | 0,17 | 0 | 0,03 |
| écart-type | 6,18 | 0,45 | 0 | 0,17 |
| max | 39 | 2 | 0 | 1 |
| min | 13 | 0 | 0 | 0 |

Le test de Stroop

Les scores du groupe de participants au test de Stroop (tableau 10) indiquent un ralentissement des TR lié à l'interférence, (TR dénomination – TR interférence = 85.09 secondes), plus d'erreurs dans la condition interférente comparée aux conditions dénomination et lecture. Dans la condition interférente, l'observation de l'écart-type du nombre d'erreurs (écart-type=3.5) et de l'écart-type des TR (écart-type=56.55 sec.) suggère que la capacité à résister à l'interférence varie selon les individus du groupe.

Tableau 10: Performance au STROOP, TR en seconde et nombre d'erreurs pour répondre à 100 items aux conditions dénomination, lecture et interférence.

| | Stroop | | | | | |
|-------------------|--------------|--------|---------|--------|--------------|--------|
| | Dénomination | | Lecture | | Interférence | |
| | TR | erreur | TR | erreur | TR | erreur |
| moyenne | 73,91 | 0,83 | 51,91 | 0,11 | 159 | 3,03 |
| écart-type | 19,19 | 1,18 | 10,67 | 0,32 | 56,55 | 3,5 |
| max | 140 | 4 | 85 | 1 | 300 | 14 |
| min | 53 | 0 | 38 | 0 | 82 | 0 |

La Bref

L'observation de l'écart-type et de l'étendue des scores à la Bref (tableau 11), indique une variabilité des scores des participants.

Tableau 11 : Scores à la batterie rapide d'évaluation frontale (Bref) sur 18 points.

| | Bref |
|-------------------|-------|
| moyenne | 16,32 |
| écart-type | 1,8 |
| max | 18 |
| min | 12 |

L'ensemble des scores aux tests cognitifs indique une variabilité de la performance entre les individus du groupe de participants âgés. Nous tâcherons dans la suite de la présentation des résultats de rendre compte du lien entre cette diversité au niveau du groupe et entre la dispersion (VII), le niveau de performance moyen et l'inconsistance de la performance (VII) à la tâche de contrôle AX-cpt.

4.1.2. Relations entre dispersion de la performance et performance aux tests cognitifs

Les performances retenues pour l'analyse de la dispersion inter-tâches sont les suivantes :

- les TR aux parties A et B du TMT (TR_TMTA, TR_TMTB) et la différence TR_TMTB-TR_TMTA qui mesure le coût lié à l'alternance chiffres-lettres ;

- le score au MMSE (/30) ;

- le score de fluence verbale alternée ;

- les scores d'empan de chiffres (endroit et envers) ;

- les scores d'empan visuo-spatial (endroit et envers) ;

- les TR au Stroop aux conditions dénomination (TR dénomination), lecture (TR lecture) et interférence (TR interférence). On retient également comme mesure du coût lié à l'interférence (ou effet Stroop) la différence entre TR_interférence et TR_dénomination ;

- les scores à l'épreuve des 15 mots de REY : score d'apprentissage (/75) et score de reconnaissance (/15) ;

- le score à la Bref (/18).

Pour obtenir un indice de dispersion individuel à partir des scores aux tests cognitifs, nous avons d'abord standardisé ces scores (z-scores de moyenne nulle et d'écart-type de 1) après avoir inversé les TR (transformation d'un temps en vitesse). Dans un second temps, nous avons calculé pour chaque individu un score moyen (Mi) et un écart-type (ETi) à partir des scores standardisés. Les valeurs de la dispersion des scores (ETi) observées sur l'échantillon apparaissent sur la figure 26.

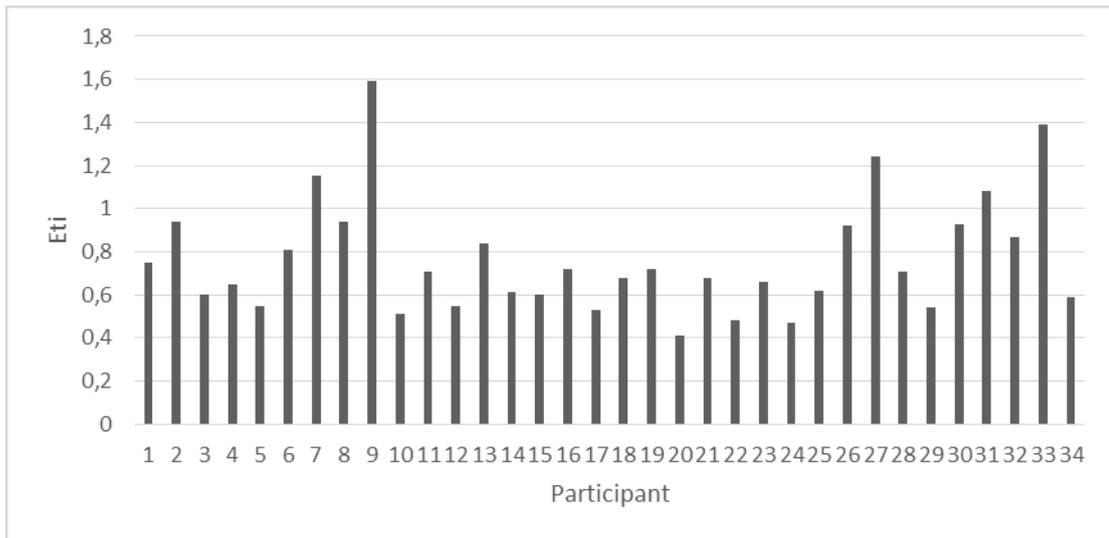


Figure 26 : Distribution de la dispersion (ETi) du groupe de participants, n=34.

Les corrélations entre les différents scores aux tests, le niveau moyen de performance aux tests cognitifs (Mi) et la dispersion (ETi) des scores aux tests apparaissent dans le tableau ci-dessous (tableau 12).

Tableau 12: Corrélations entre la dispersion (ETi), la performance moyenne individuelle (Mi) et les performances individuelles aux épreuves cognitives. Significativité: *= $p < .05$; **= $p < .01$, ns= non significatif. Epreuves cognitives : Mini-Mental Examination state (MMSE), Trail Making Test (TMT), 15 mots de Rey, Test du Stroop, Fluence alternée, Empan de chiffres, empan visuo-spatial (blocs de Corsi) et la batterie rapide d'évaluation frontale (Bref).

| Domaine cognitif évalué | Epreuve cognitive | Mesure | ETi | Mi |
|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------|---------|
| Etat mental général | MMSE | Score | ns | ,454** |
| Attention et flexibilité | TMT | TR_TMTA | ,365** | -,633** |
| | | TR_TMTB | ns | -,880** |
| | | TR_TMTB-TR_TMTA | ns | -,787** |
| Mémoire épisodique | 15 mots de Rey | Apprentissage liste A | ns | ,731** |
| | | Reconnaissance liste A | ns | ,412* |
| Inhibition | Stroop | TR_Dénomination (TRD) | ,359* | -,731** |
| | | TR_Lecture (TRL) | ,391* | -,415** |
| | | TR_Interférence (TRI) | ns | -,847** |
| | | Effet Stroop (TRI – TRD) | ns | -,738** |
| Fluence verbale | Fluence alternée (prénom/fruit) | Score | ns | ,675** |
| Empan de mémoire | Empan de chiffres | Empan endroit | ns | ,406** |
| | | Empan envers | ns | ,538** |
| | Empan visuo-spatial | Empan endroit | ns | ,439** |
| | | Empan envers | ns | ,427* |
| Evaluation frontale générale | Bref | Score | -,450** | ,661** |

Comme attendu, les corrélations présentées dans le tableau 12 montrent que le niveau de performance moyen est corrélé significativement à tous les scores. Le

niveau de dispersion individuel (ETi) n'est corrélé pour sa part qu'à quelques mesures de performance.

Plus précisément, des corrélations significatives et positives sont observées entre, d'une part, ETi et TR_TMTA et, d'autre part, ETi et les temps de réalisation dans les deux conditions dénomination et lecture du test de Stroop. Ces résultats révèlent que l'augmentation du niveau de dispersion individuel est associée à l'augmentation des TR individuels aux conditions simples du TMT et du test de Stroop, mais pas à une augmentation des TR dans les conditions complexes impliquant des processus de contrôle (TMTB et condition interférence du test de Stroop). Ajoutons que la corrélation entre ETi et le score à la Bref est significative et négative.

Un autre résultat mérite d'être considéré. Nos observations montrent en effet que sur cet échantillon, le niveau de dispersion n'est pas lié au niveau moyen de performance aux tests cognitifs tel que nous l'avons calculé ($r = -.3, p = .08$).

La corrélation entre le niveau de dispersion et l'âge n'est pas significative. La diminution du niveau moyen est liée à l'augmentation de l'âge, $r = -.676, p < .001$.

L'ensemble de ces résultats indique que le niveau de dispersion est un indicateur qui diffère du niveau moyen de performance lié seulement aux TR des tâches simples et de plus qu'il n'est pas lié à l'âge.

Pour avoir une vision plus synthétique de ces résultats, nous examinerons dans la section suivante la relation entre les indicateurs qui résument le niveau de performance dans chaque domaine cognitif et la dispersion des scores aux tests administrés lors du bilan cognitif.

4.1.3. Relations entre dispersion de la performance et performance dans chaque domaine cognitif

L'effectif de l'étude étant trop faible pour effectuer une analyse en composantes principales, nous avons employé une analyse de classification hiérarchique pour regrouper les tests du bilan cognitif par domaine.

L'analyse de classification hiérarchique porte sur les 16 variables suivantes : le score au MMSE, la vitesse au TMT_A et au TMTB, le score de flexibilité au TMT $[-1 \times (TR_TMTB - TR_TMTA)]$, les scores d'apprentissage et de reconnaissance au test des 15 mots de Rey, la vitesse au test de Stroop en condition lecture, en condition dénomination et en condition interférence, le score d'inhibition (ou de résistance à l'interférence) au test de Stroop $[-1 \times (TR_interférence - TR_dénomination)]$, le score de fluence alternée, les scores d'empan de chiffres (endroit et envers) et d'empan visuo-spatial (endroit et envers). Ces scores ont été standardisés avant d'effectuer l'analyse de classification. Les résultats conduisent à distinguer 4 groupes de variables (figure 27), le score d'empan de chiffres endroit n'étant pas pris en compte car n'étant associé à aucun groupe de variables.

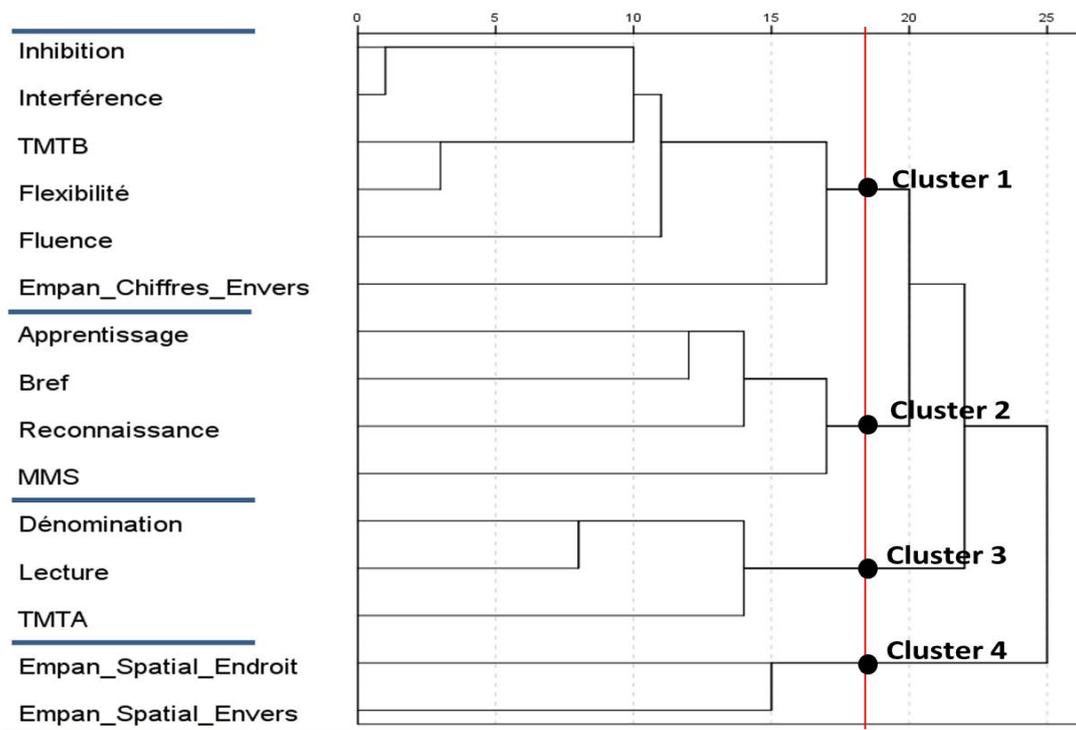


Figure 27 : Dendrogramme de l'analyse de classification hiérarchique : les 15 variables considérées peuvent être regroupées en 4 groupes de variables homogènes.

Ainsi qu'on peut le voir sur le dendrogramme, le premier cluster regroupe des tests qui mesurent la capacité de la MDT et les fonctions exécutives de résistance à l'interférence et de flexibilité (inhibition au Stroop, vitesse au Stroop en condition interférence, vitesse au TMTB, flexibilité au TMT, fluence alternée et empan de chiffres envers). Les tests constituant le second cluster évaluent la mémoire épisodique et l'efficacité cognitive plus générale (scores d'apprentissage et de

reconnaissance au test des 15 mots de Rey, MMSE, Bref). Le troisième cluster est composé de tests qui mesurent la vitesse de traitement (TR au Stroop en conditions lecture et dénomination, vitesse de réalisation de la partie A du TMT). Enfin, le quatrième cluster regroupe les tests mesurant la mémoire visuo-spatiale (empan visuo-spatiaux endroit et envers).

Au total, ce regroupement des tests cognitifs sur la base des processus échantillonnés conduit à distinguer 4 domaines : vitesse de traitement, résistance à l'interférence, mémoire épisodique/efficacité générale et mémoire visuo-spatiale. Le score de chaque participant dans chaque domaine est obtenu en calculant la moyenne des scores standardisés aux tests d'un même domaine.

Les résultats des analyses corrélationnelles entre la dispersion des scores aux tests (ETi) et l'efficacité dans les 4 domaines de la cognition distingués plus haut montrent l'existence d'une corrélation (figure 28):

- négative, $r = -.405$, $p = .017$, entre la dispersion et le score de mémoire épisodique et d'efficacité générale ;
- négative, $r = -.337$, $p = .05$, entre la dispersion et la vitesse de traitement ;

On constate également que la performance moyenne aux tests du bilan (Mi) est fortement corrélée aux scores de résistance à l'interférence $r = .869$, $p < .001$, de mémoire épisodique et d'efficacité générale, $r = .753$, $p < .007$, de vitesse, $r = .714$, $p < .001$ et, dans une moindre mesure, au score d'empan visuo-spatial $r = .505$, $p = .002$.

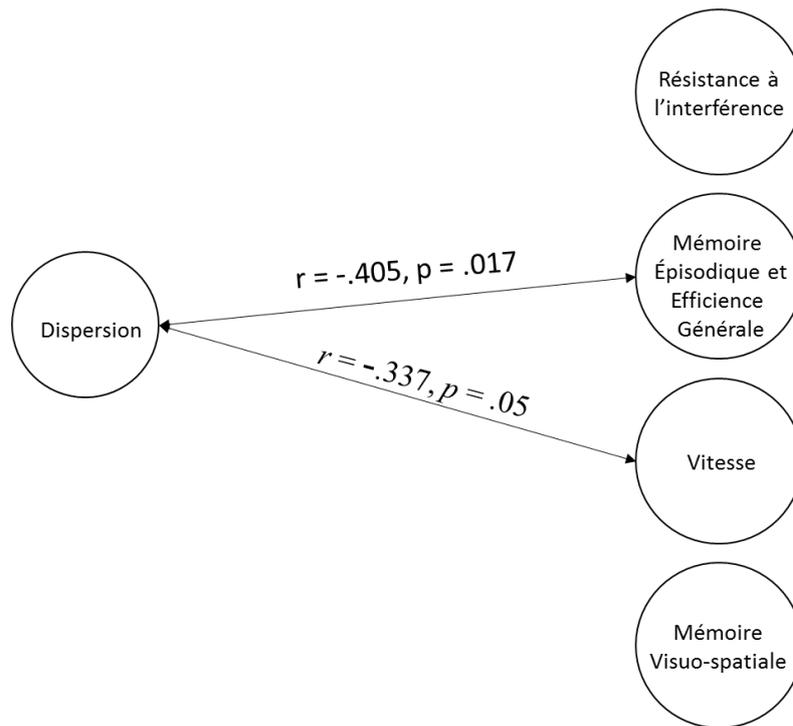


Figure 28 : Relations entre la dispersion de la performance (ETi) et les scores dans les 4 domaines (résistance à l'interférence, vitesse, mémoire épisodique et efficacité cognitive générale, mémoire visuo-spatiale).

4.2. Etude longitudinale de la performance à la tâche AX-cpt

4.2.1. Evolution de la performance au cours des sessions

Les analyses présentées dans cette section concernent l'évolution de la performance de 34 participants ($MMSE \geq 27$) aux 6 sessions d'évaluation en fonction du type d'essai et de la session ($s_1 \rightarrow s_2$: $N=34$; $s_1 \rightarrow s_3$: $N=33$; $s_1 \rightarrow s_6$: $N=31$).

Nous examinerons également la relation entre d'une part, les mesures effectuées à l'entrée des participants dans l'étude [i.e., les scores de vitesse, de résistance à l'interférence, de mémoire épisodique et d'efficacité générale, de mémoire visuo-spatiale ; la dispersion des scores aux tests] et d'autre part, la performance moyenne (précision, TR) et la variabilité intra-individuelle (au travers des essais, au travers des sessions) de la performance à la tâche AX-cpt. Nous introduirons également comme covariables les mesures effectuées à l'entrée des participants dans l'étude des effets du type d'essai et de la session sur la performance et la VII de la performance à la tâche AX-cpt.

Effets du type d'essai et de la session sur la précision (PR) et la variabilité intra-individuelle de la précision (varPR)

Nous avons effectué une analyse de variance à mesures répétées avec PR et varPR comme variables dépendantes. Les facteurs intra-sujets sont le type d'essai (4 modalités : AX, BX, AY et BY) et la session (6 modalités).

Les résultats des tests multivariés montrent un effet du type d'essai [$\Lambda(6,180)=4.1, p = .007$] mais pas d'effet de la session ni d'effet d'interaction entre le type d'essai et la session. Les résultats des tests univariés ne montrent pas d'effet significatif du type d'essai sur PR ni sur varPR. Aucun effet de la session sur PR ou sur varPR n'est mis en évidence. Ces résultats s'expliquent par le constat d'un effet plafond quel que soit le type d'essai (AY : PR 99.1%, écart-type= 0.2% ; AX : PR = 99.3%, écart-type = 0.1% ; BX : PR = 99.5%, écart-type=0.1% ; BY : PR = 99.7%, écart-type = 0.1%).

Effets du type d'essai et de la session sur les TR et la VII des TR (cvTR)

Bien que la précision soit très élevée, l'analyse des TR porte seulement sur les bonnes réponses. Comme précédemment, nous avons effectué une analyse de variance à mesures répétées avec TR et cvTR comme variables dépendantes. Les facteurs intra-sujets sont le type d'essai (4 modalités : AX, BX, AY et BY) et la session (6 modalités).

Les résultats des tests multivariés montrent un effet du type d'essai [$\Lambda(6, 180)=23 ; p<.001$], un effet de la session [$\Lambda(10, 300)=4.32 ; p<.001$] mais pas d'effet d'interaction type d'essai \times session. Les résultats des tests univariés montrent un effet significatif du type d'essai sur TR [$F(3, 90)=53.5, p<.001$] et sur cvTR [$F(3, 90)=16, p<.001$] et un effet significatif de la session sur TR [$F(5, 150)=9.1, p<.001$] et cvTR [$F(5, 150)=3.6, p=.004$]. Les tests de contrastes du type d'essai sur le TR avec BY comme essai de référence (essai contrôle) montrent que le TR aux essais BY (m=551) est inférieur au TR des trois autres types d'essais AX (m=590 msec.), [$F(1, 30)=6.91, p=.013$], BX (m=575 msec.), [$F(1, 30)=7.79, p=.009$] et AY (m=724 msec.), [$F(1, 30)=151.7, p<.001$]. Les tests de contrastes réalisés en comparant l'essai cible AX aux autres types d'essais montrent que le TR aux essais AX est inférieur à celui des essais AY, [$F(1, 30)=88.6, p<.001$], et ne montrent pas de différence entre les essais AX et BX. Enfin, le TR aux essais AY est supérieur à celui

des essais BX, [$F(1, 30)=70, p<.001$]. Le TR aux essais AY est donc supérieur à celui des 3 autres types d'essais (figure 29).

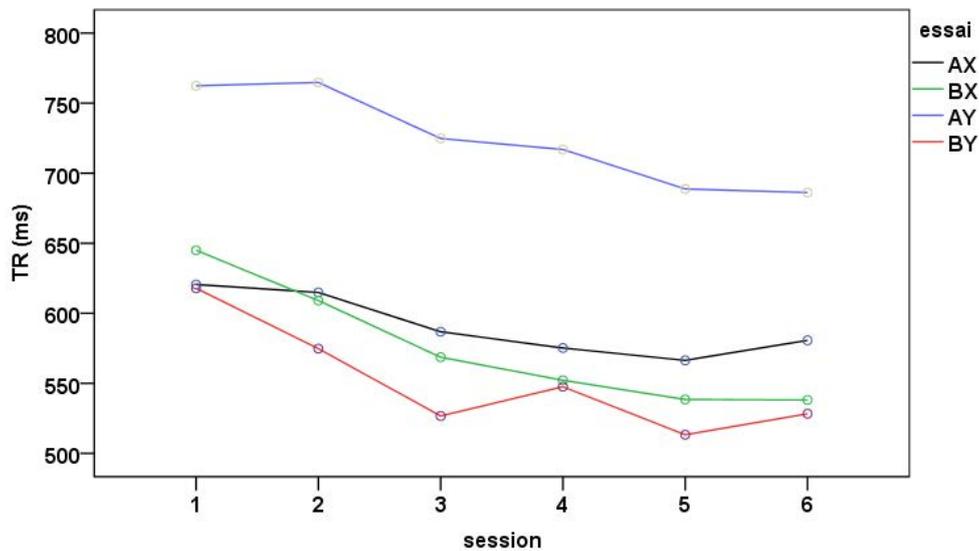


Figure 29 : TR aux essais AX, BX, AY et BY lors des 6 premières sessions.

Les tests de contrastes du facteur essai sur les cvTR montrent également des différences significatives entre les essais. La variabilité intra-individuelle des TR (cvTR) aux essais AX (m=26) est inférieure à celle des essais BY (m=34), [$F(1, 30)=11.4, p=.002$], et à celle des essais BX (m=40), [$F(1, 30)=28, p<.001$] et ne diffère pas de celle des essais AY. La VII des TR aux essais BY est inférieure à celle des essais BX [$F(1, 30)=5, p=.03$], et supérieure à celle des essais AY (m=24) [$F(1, 30)=11.8, p=.002$]. Enfin les tests de contrastes réalisés entre l'essai AY et l'essai BX indiquent une VII des TR supérieure aux essais BX, [$F(1, 30)=30, p<.001$] (figure 30).

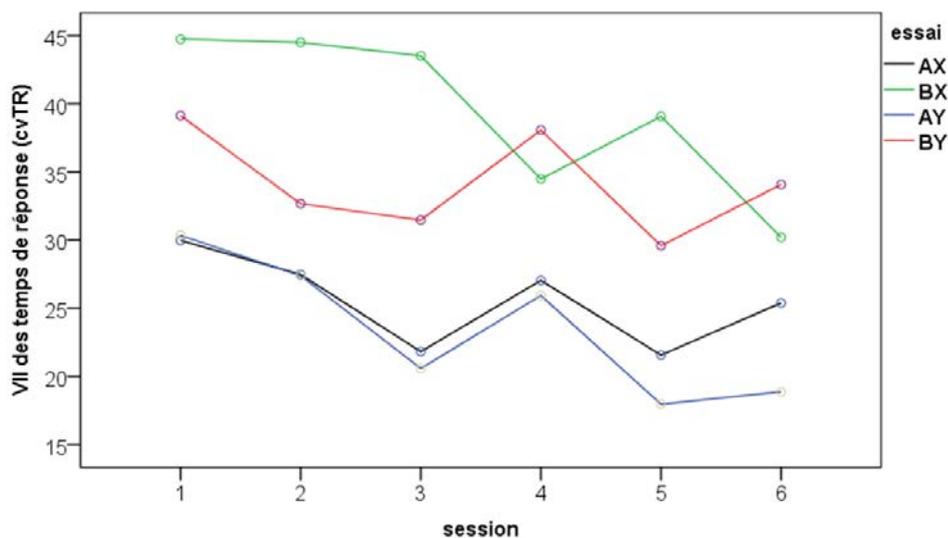


Figure 30 : VII des TR intra-tâche (cvTR) aux différents essais (AX, BX, AY et BY) lors des 6 premières sessions.

En résumé, comme attendu, les participants répondent plus rapidement aux essais BY (essais contrôle) qu'ils ne répondent à tous les autres essais. Ils répondent aussi plus lentement aux essais AY (biais d'attente) qu'ils ne répondent aux autres essais, notamment aux essais BX (pas de biais d'inhibition). Les observations effectuées montrent que la VII des TR (cvTR) aux essais BX (biais d'inhibition) est supérieure à celle des TR aux autres types d'essais et que la VII des TR (cvTR) aux essais AX (essais cible) et AY (biais d'attente) est inférieure à celle des TR aux essais BY (essais contrôle). En bref, l'augmentation des TR aux essais AY traduit l'existence d'un biais d'attente ; l'augmentation de la VII des TR aux essais BX traduit l'existence d'un biais d'inhibition que l'examen des TR ne permet pas de mettre en évidence.

Les tests de contrastes répétés du facteur session sur les TR montrent une différence significative entre les sessions 2 ($m=641$ msec) et 3 ($m=602$ msec) [$F(1,30) = 4.4, p = .045$]. Réalisés avec la 6^{ème} session en référence, les tests de contrastes du facteur session indiquent que les TR des sessions 1 et 2 sont significativement différents du TR de la 6^{ème} session [session 1 ($m=662$ msec) vs session 6 ($m=583$ msec) : $F(1, 30)=22.27, p<.001$] et [session 2 ($m=641$ msec) vs session 6 ($m=583$ msec) : $F(1, 30)=11.7, p=.002$]. Les résultats des tests de contrastes comparant chaque niveau à la session 1 indiquent que les TR des sessions 3, 4, 5 et 6 sont significativement différents des TR de la session 1, [session 3 vs

session 1 : $F(1, 30)=12.31, p=.001$], [session 4 vs session 1 : $F(1, 30)=16.68, p<.001$], [session 5 vs session 1 : $F(1, 30)=23.44, p<.001$], [session 6 vs session 1 : $F(1, 30)=22.27, p<.001$]. Les TR des sessions 3 (m=601 msec), 4 (m=598 msec), 5 (m=577 msec) et 6 (m=583 msec) sont inférieurs à ceux de la session 1 (m=661 msec). Au total, le TR diminue entre le début de l'étude et la 6^{ème} session d'évaluation : il ne diffère pas entre les sessions 1 et 2, les sessions 3 et 4, les sessions 4 et 5, et les sessions 5 et 6 (figure 29).

Réalisés comme précédemment, les tests de contrastes répétés du facteur session sur le cvTR ne montrent pas de différence significative entre les sessions. Les résultats montrent que le cvTR des deux premières sessions est significativement différent de celui de la 6^{ème} session [session 1 vs session 6 : $F(1, 30)=8.78, p=.006$] et [session 2 vs session 6 : $F(1, 30)=4.29, p=.047$]. Les résultats indiquent que le cvTR des sessions 1 (m=37) et 2 (m=34) est supérieur à celui de la session 6 (m=28). Lorsque les tests de contrastes sont réalisés en comparant les sessions 2, 3, 4, 5 et 6 à la première, les résultats indiquent que le cvTR des sessions 3, 5 et 6 est significativement différent du cvTR à la session 1. Le cvTR de la session 1 (m=37) est supérieur au cvTR de la session 3 (m=29, [$F(1, 30)=8.47, p=.007$]), de la session 5 (m=27, [$F(1, 30)=9.9, p=.004$]) et de la session 6 (m=28, [$F(1, 30)=8.8, p=.006$]). Le cvTR diminue donc entre le début de l'étude et la 6^{ème} session. Les résultats des tests de contrastes ne montrent pas de différence significative entre la session 1 et 2, les sessions 2 et 3, les sessions 3 et 4, les sessions 4 et 5 et les sessions 5 et 6 (figure 30).

4.2.2. Efficience cognitive / dispersion des scores lors du bilan et évolution des TR et de la VII des TR (cvTR) au cours des sessions

Les scores dans les 4 domaines évalués lors du bilan cognitif à l'entrée dans l'étude (vitesse de traitement, résistance à l'interférence, mémoire épisodique/efficience cognitive et mémoire visuo-spatiale) ainsi que les scores de dispersion ont été discrétisés pour créer deux groupes de participants (faibles vs forts). Pour chaque domaine, le groupe faible rassemble les participants qui ont obtenu un score en dessous de la moyenne du groupe, le groupe fort rassemble les participants ayant obtenu un score au-dessus de la moyenne (tableau 13).

Tableau 13 : Distribution des effectifs selon le niveau d'efficacité (fort ou faible) pour chaque domaine cognitif extrait du bilan à l'entrée dans l'étude (résistance à l'interférence, vitesse, mémoire visuo-spatiale et mémoire épisodique et efficacité générale), et moyenne (m) des scores pour chaque groupe de niveau, effectif total = 34.

| | Résistance à l'interférence | Vitesse | Mémoire visuo-spatiale | Mémoire épisodique et efficacité générale |
|----------------|-----------------------------|---------------|------------------------|---|
| niveau faible | 16 (m= -0,68) | 17 (m= -0,63) | 15 (m= -0,78) | 15 (m= -0,66) |
| niveau fort | 18 (m= 0,57) | 17 (m= 0,63) | 19 (m= 0,62) | 19 (m= 0,52) |
| effectif total | 34 | 34 | 34 | 34 |

Le groupe de niveau faible de dispersion est constitué de 18 participants et le groupe de niveau élevé de dispersion est constitué de 16 participants sur l'ensemble des 34 sujets (groupe faible dispersion, $m=0.62$, groupe forte dispersion $m=0.96$).

Des analyses de variance à mesures répétées multivariées sont réalisées avec les TR et la VII des TR (cvTR) comme variables dépendantes. Les facteurs intra-sujets sont le type d'essai (4 modalités : AX, BX, AY et BY) et la session (6 modalités). Le groupe d'appartenance de l'individu (niveau faible ou élevé) dans chaque domaine mesuré lors du bilan à l'entrée dans l'étude est introduit dans les analyses comme covariable (résistance à l'interférence, vitesse, mémoire visuo-spatiale, mémoire épisodique/efficacité générale et dispersion). L'âge est également introduit dans le modèle comme covariable.

Les résultats des tests multivariés mettent en évidence un effet du niveau de mémoire visuo-spatiale [$\Lambda(2, 23)=9.3, p=.001$] ainsi qu'un effet du niveau de dispersion [$\Lambda(2, 23)=4.46, p=.023$]. L'interaction essai \times résistance à l'interférence [$\Lambda(6, 144)=2.5, p=.024$] a également un effet significatif. On ne constate pas d'effet principal de l'essai et de la session.

Les résultats des tests univariés indiquent que le niveau de mémoire visuo-spatial a un effet significatif sur le TR [$F(1, 24)=9.27, p=.006$], mais pas sur cvTR, et que le niveau de dispersion a un effet sur le TR [$F(1, 24)=7.61, p=.011$], mais pas sur le cvTR. Le TR du groupe de participants caractérisé par un faible niveau de mémoire visuo-spatiale est supérieur ($m= 699$ msec) à celui du groupe de participants caractérisé par un niveau de mémoire visuo-spatiale élevé ($m=557$ msec) (figure 31). Pour un faible niveau de dispersion, le TR moyen est inférieur ($m=563$ msec) comparé à un niveau de dispersion élevé ($m= 693$ msec) (figure 32). L'âge a un effet significatif sur le TR [$F(1, 24)=4,76, p=.039$], mais pas sur le cvTR,

l'augmentation du TR est associée à une augmentation de l'âge. Les résultats ne montrent pas l'existence d'un effet du type d'essai sur le TR ni sur le cvTR et montrent un effet d'interaction significatif entre le type d'essai et la résistance à l'interférence sur le cvTR [$F(3,72)=3.83, p=.013$].

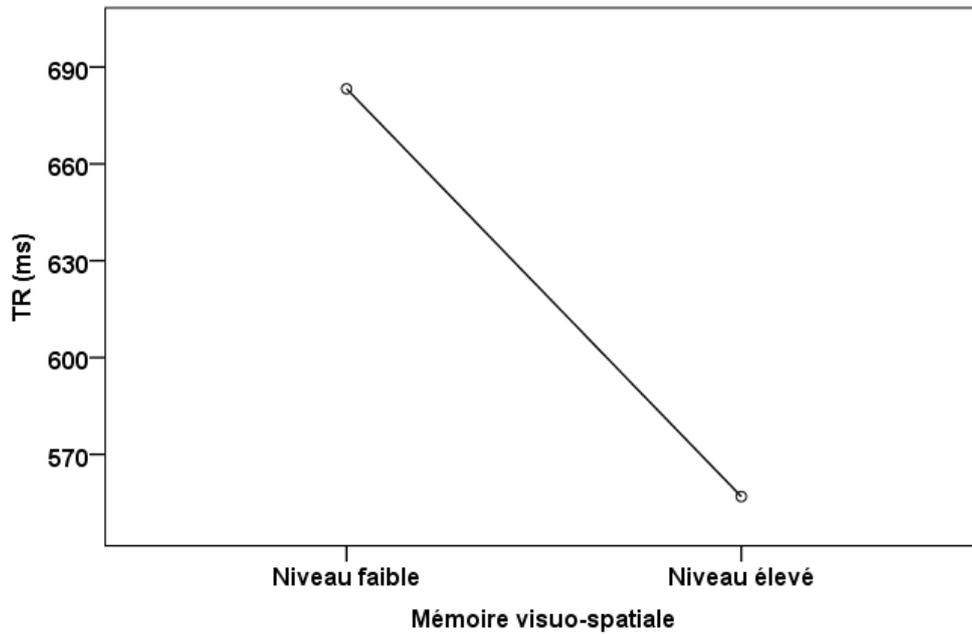


Figure 31 : TR selon le niveau de mémoire visuo-spatiale (faible et élevé).

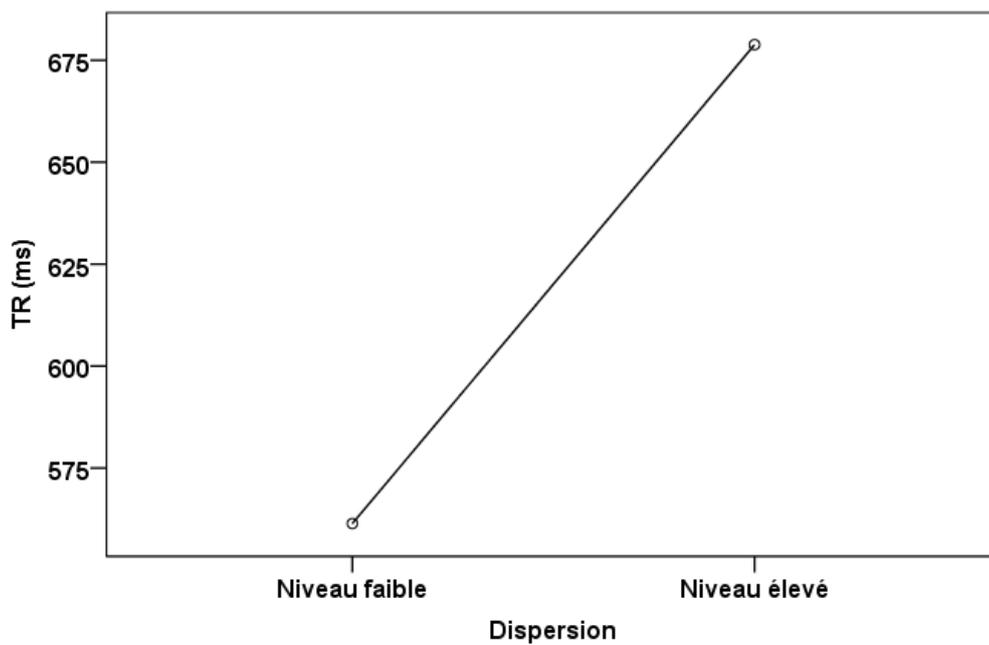


Figure 32 : TR (TR) selon le niveau de dispersion (faible et élevé).

Les résultats des tests de contrastes indiquent que l'écart de VII (cvTR) entre les essais BX et AX, entre les essais BX et BY, entre les essais BX et AY est plus important pour les participants du groupe de niveau de résistance à l'interférence faible en comparaison aux participants du groupe de niveau de résistance à l'interférence élevé [cvTR_BX-cvTR_AX, $F(1, 24)=12.3$, $p=.002$], [cvTR_BX-cvTR_BY, $F(1, 24)=5.17$, $p=.032$], [cvTR_BX-cvTR_AY, $F(1, 24)=7.5$, $p=.011$], (écart niveau faible : cvTR_BX-cvTR_AX=24 ; cvTR_BX-cvTR_BY=13 ; cvTR_BX-cvTR_AY=25 et écart niveau élevé : cvTR_BX, cvTR_AX =5 ; cvTR_BX-cvTR_BY =1 ; cvTR_BX-cvTR_AY =8), (figure 33).

L'écart de VII entre les essais BX et AX est supérieur pour le groupe de participants dont le niveau de vitesse est élevé en comparaison au groupe de participants dont le niveau de vitesse est faible [(cvTR_BX-cvTR_AX), $F(1, 24)=5.25$, $p=.031$] (vitesse élevé : différence cvTR_BX-cvTR_AX =21, vitesse faible : différence cvTR_BX-cvTR_AX =7) (figure 34).

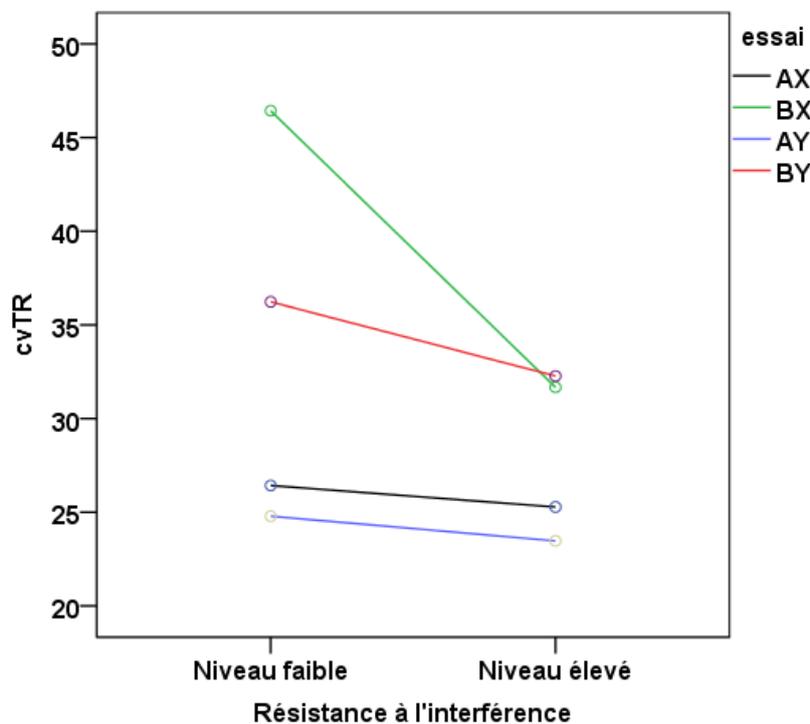


Figure 33 : cvTR en fonction du type d'essai (AX, BX, AY et BY) et du niveau de résistance à l'interférence (niveau faible et niveau élevé)

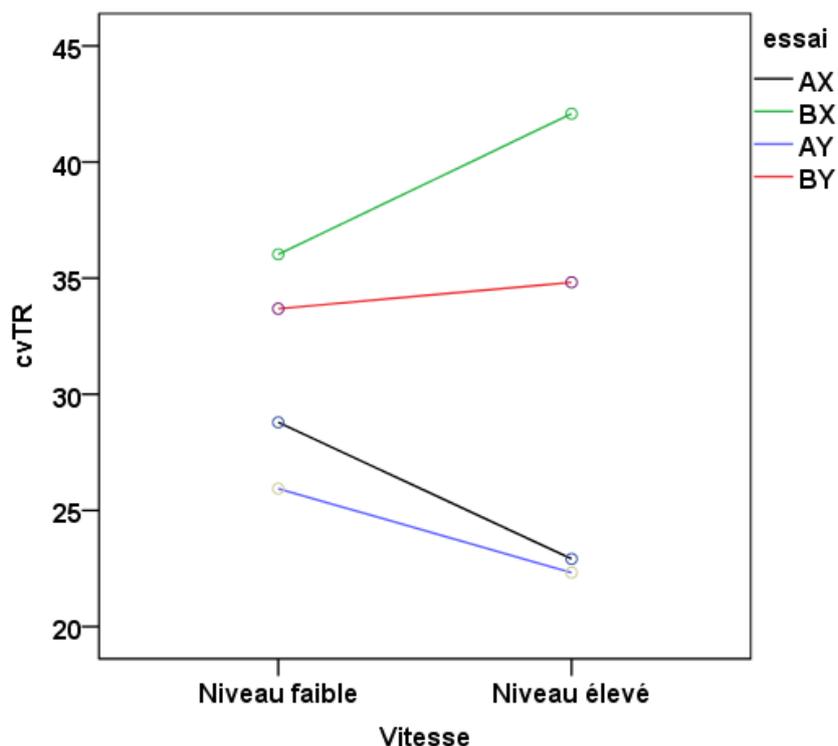


Figure 34 : cvTR en fonction du type d'essai (AX, BX, AY et BY) et du niveau de vitesse (niveau faible et niveau élevé)

Les résultats des tests de contrastes n'indiquent pas de différence significative de TR ni de cvTR entre la session 1 et les sessions suivantes.

4.2.3. Evolution au cours des sessions de l'instabilité temporelle des TR (MSSD) et de l'irrégularité, au travers des essais, du MSSD

Les analyses effectuées dans cette section sont les mêmes que précédemment avec MSSD et l'étendue de l'intervalle de confiance du MSSD (irrégularité du MSSD : IRR.MSSD) comme variables dépendantes. Les résultats de l'analyse multivariée montrent une absence d'effet de la session, les résultats des tests univariés indiquant l'absence d'effet significatif du facteur session sur MSSD et IRR.MSSD.

Les résultats des tests de contrastes du facteur intra-sujet indiquent des différences significatives du MSSD entre les sessions 5 et 1 [$F(1, 30)=7.6, p=.01$] et des différences significatives de IRR.MSSD qui mesure l'irrégularité de l'instabilité temporelle entre les sessions 5 et 1 [$F(1, 28)=5.87, p=.02$]. Ces résultats se traduisent par une diminution de l'instabilité temporelle (MSSD) entre les sessions 1

($m=321183$) et 5 ($m=83530$), et par une diminution de IRR.MSSD également entre les sessions 1 ($m=869923$) et 5 ($m=204593$). On note qu'à la session 6 les niveaux de MSSD et IRR.MSSD ne diffèrent pas de la session 1 (figure 35 et figure 36).

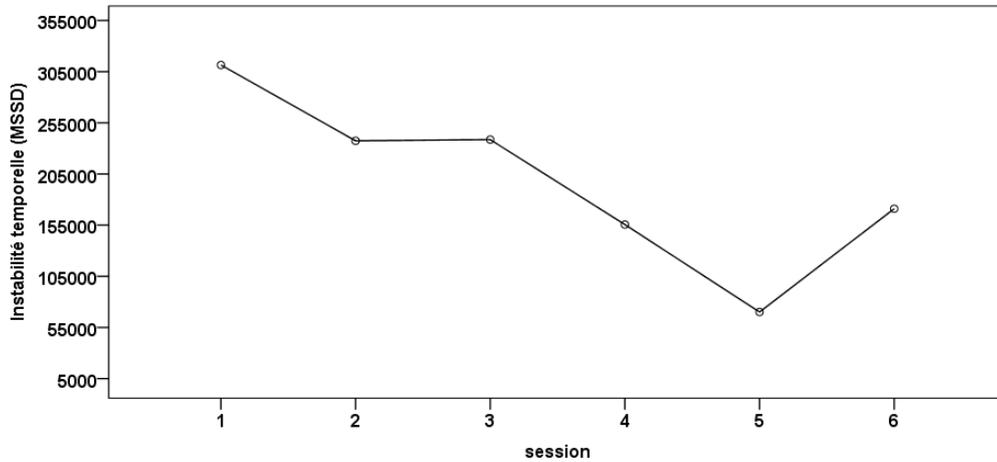


Figure 35 : Evolution de l'instabilité temporelle (MSSD) au cours des 6 premières sessions d'évaluation.

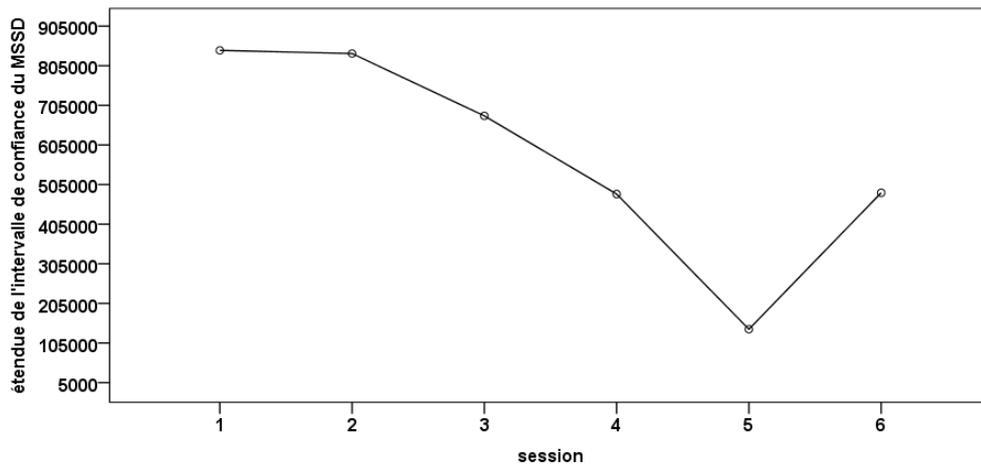


Figure 36 : Evolution de l'étendue de l'intervalle de confiance de l'évaluation du MSSD au cours des 6 premières sessions d'évaluation.

4.2.4. *Effizienz cognitive / dispersion des scores lors du bilan et évolution de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) au cours des sessions*

Comme précédemment, le groupe d'appartenance de l'individu (niveau faible ou élevé) dans chaque domaine mesuré lors du bilan à l'entrée dans l'étude (résistance à

l'interférence, vitesse, mémoire visuo-spatiale, mémoire épisodique/efficience générale et dispersion) et l'âge sont introduits dans les analyses comme covariables.

Les résultats des tests multivariés n'indiquent pas d'effet de la session sur les données ni d'effet d'interaction entre la session et les covariables. Les résultats des tests univariés n'indiquent pas non plus d'effet significatif de la session sur le MSSD ni sur IRR.MSSD. De plus les résultats des tests de contrastes n'indiquent pas de différence entre les mesures de MSSD et de son irrégularité entre les sessions. L'âge n'as pas d'effet sur le MSSD et sur son irrégularité.

4.2.5. *Analyse des profils individuels*

Pour étudier les changements individuels de comportements lors de la réalisation d'une tâche de contrôle cognitif, des analyses de profils individuels ont été réalisées. Ce type d'analyse permet de mettre en évidence le changement d'état latent de chaque participant au cours d'une même tâche à partir de la performance mesurée et de donner les informations sur la sensibilité de la performance de chaque individu à l'essai. L'estimation du nombre d'états repose sur la probabilité qu'un individu présenter 1, 2, 3 ou 4 états au travers des réponses aux essais de la tâche. Cette estimation repose sur le modèle de Markov caché (*HMM : Hidden Markov Model*) (voir Juhel, 2013). Les paramètres estimés pour chaque individu à chaque session (de la première à la sixième) sont le nombre d'états et l'effet de l'essai sur le TR et sur PR.

L'analyse de profils individuels est donc réalisée au sein de chaque session d'évaluation (un profil de performance par session et par participant). Cela permet de mettre en évidence pour chaque individu la variation du comportement (changement d'état) lorsqu'elle a lieu au cours d'une même tâche.

Les analyses de profils individuels sont réalisées à partir des TR et de la précision à la tâche AX-cpt. Ce type d'analyse permet donc de rendre compte pour chaque individu de la sensibilité à la variation du type d'essais à la fois sur le TR et sur la précision. Ces analyses permettent une approche plus fine du comportement individuel et apporte une information nouvelle sur la variation de comportement lors d'une tâche simple de contrôle cognitif.

Comme cela a été exposé plus avant, l'étude des profils individuels permet de décrire la variabilité interindividuelle du groupe de participants âgés, et de décrire la variabilité intra-individuelle intra-tâche sous forme de variabilité d'états. L'analyse de tels profils permet donc l'étude de la VII intra-tâche à partir de changement d'états au sein du comportement.

Description des profils individuels pour chacune des 6 premières réalisations de la tâche AX-cpt.

L'effet de l'essai est testé pour chaque individu et le nombre d'états (intra-tâche) est déterminé à chaque session. Les résultats des analyses indiquent que la variation de comportement au sein d'une même session concerne la majorité des individus et que cette variation est associée pour une majorité à un effet de l'essai sur le TR (entre 21 et 27 participants selon la session) et très rarement associée à une variation de la précision (entre 1 et 3 participants selon la session) (tableau 14). Toutefois, les performances de certains participants ne sont pas affectées par la variation du type d'essai (entre 6 et 10 participants selon la session).

Tableau 14 : Tableau des effectifs associés à un effet de l'essai sur TR et sur PR, effectif présentant 1, 2, 3 et 4 états selon la session, de la session 1 à la session 6.

| | session 1 | session 2 | session 3 | session 4 | session 5 | session 6 |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Total | 34 | 34 | 33 | 31 | 31 | 31 |
| Effet de l'essai sur TR | 25 | 26 | 27 | 22 | 25 | 21 |
| Effet de l'essai sur PR | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| 1 état | 10 | 10 | 13 | 9 | 14 | 9 |
| 2 états | 22 | 22 | 18 | 20 | 14 | 21 |
| 3 états | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 4 états | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Cette description des résultats des analyses de profils individuels rend compte de la variabilité interindividuelle du comportement dans la réalisation de la tâche AX-cpt. Nous retiendrons dans cette étude le nombre d'états pour chaque participant comme indicateur de la VII au sein d'une même tâche. Nous nous attachons à l'étude du lien entre cet indicateur de variabilité intra-individuelle, l'efficacité cognitive, et la performance à la tâche AX-cpt.

La figure 37 permet une visualisation de la variation du nombre d'états d'une session à l'autre et indique que les individus peuvent présenter une variation de comportement au cours d'une même tâche qui se traduit par 1, 2, 3 ou même 4 états

différents et cette instabilité du comportement peut varier d'une session à l'autre. Par exemple les individus 4, 19 et 26 présentent le même nombre d'états (2 états) par session au cours des 6 sessions alors que les autres individus présentent un nombre d'états qui varie d'une session à l'autre. L'individu 23 ne varie pas non plus d'une session à l'autre, et présente un seul état à chaque session. Le nombre d'états des individus 16 et 30 (2 états) ne varie pas non plus mais ils n'ont pas réalisé l'ensemble des sessions. L'observation des données permet de rendre compte d'une forme de variabilité intra-individuelle qui permet une approche nouvelle de l'étude de la fluctuation entre les réponses aux essais de la tâche.

| Individu | Session | | | | | | Visualisation |
|----------|---------|---|---|---|---|---|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 | |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 5 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| 6 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| 7 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | |
| 8 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | |
| 9 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| 10 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | |
| 11 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| 12 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| 13 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 14 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | |
| 15 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| 16 | 2 | 2 | | | | | |
| 17 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | |
| 18 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | |
| 19 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 20 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | |
| 21 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 22 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | |
| 23 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 24 | 2 | 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | |
| 25 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| 26 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 27 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 28 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | |
| 29 | 1 | 2 | 2 | | | | |
| 30 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| 31 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | |
| 32 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | |
| 33 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | |
| 34 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |

Figure 37 : Nombre d'états par session pour chaque participant (n=34) de la session 1 à 6 (1 ligne est associée à un participant) et visualisation du nombre d'états au cours des 6 sessions.

L'observation des corrélations de rang (tableau 15) indique que le nombre d'états d'une session à une autre est indépendant entre la première et la quatrième session, excepté entre la session 1 et la session 4 entre lesquelles un lien significatif est observé. Le lien entre le nombre d'états par session est significatif et positif entre les sessions 5 et 6. Cela suggère que lorsque la tâche est réalisée les 4 premières fois, la variabilité intra-individuelle du comportement mise en évidence par le nombre d'états au sein d'une même tâche est instable et indépendant d'une session à l'autre, et apparaît être une caractéristique plus stable de l'individu lorsque la tâche est plus familière (sessions 5 et 6).

Tableau 15 : Corrélations Tau de Kendall entre le nombre d'états au sein des sessions, de la session 1 à 6

| | session 1 | session 2 | session 3 | session 4 | session 5 | session 6 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| session 1 | 1 | | | | | |
| session 2 | ns | 1 | | | | |
| Tau de Kendall session 3 | ns | ns | 1 | | | |
| session 4 | ,361* | ns | ns | 1 | | |
| session 5 | ns | ns | ns | ns | 1 | |
| session 6 | ns | ns | ns | ns | ,362* | 1 |

Lien entre la variabilité intra-individuelle de comportement intra-tâche et l'efficacité cognitive

Nous proposons d'étudier la VII de comportement intra-tâche en relation avec l'efficacité cognitive et l'âge. Les corrélations indiquent que l'âge n'est pas lié au nombre d'états pour chacune des sessions d'évaluation. Des corrélations Tau de Kendall ont été réalisées pour établir le lien entre le nombre d'états et l'efficacité cognitive, les corrélations indiquent un lien significatif et négatif entre la mémoire épisodique/efficacité générale et le nombre d'états à la session 3 ($\tau = -.506, p=.003$). L'augmentation du niveau de mémoire épisodique/efficacité générale est associée à une diminution du nombre d'états (figure 38). Nous notons que ce lien est observé seulement à la session 3 et n'est pas répliqué aux autres sessions.

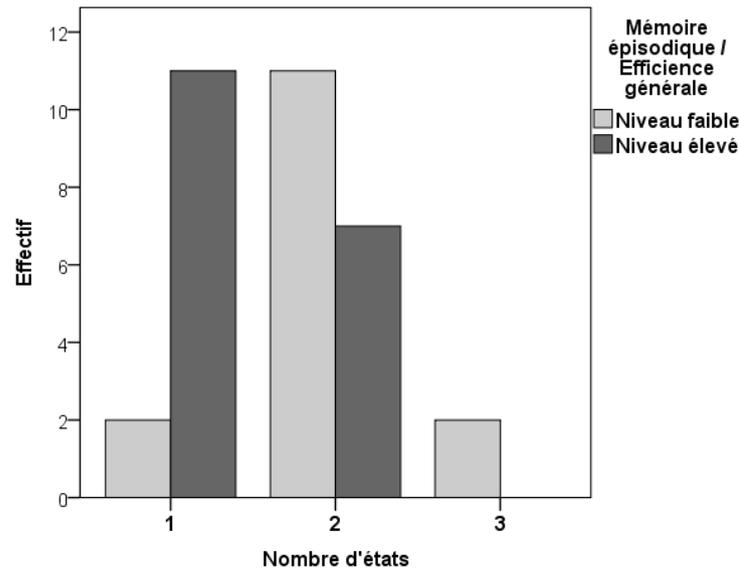


Figure 38 : Nombre d'états selon le niveau de mémoire épisodique/efficacité générale (faible ou élevée) à la session 3.

Le mode du nombre d'états a été calculé pour chaque individu pour l'ensemble des sessions réalisées, le lien entre le mode et l'efficacité cognitive n'est pas significatif.

4.2.6. *Changement d'états intra-tâche, performance et VII de la performance à la tâche AX-cpt*

Le lien entre la performance à la tâche AX-cpt et le nombre d'états à chaque session est évalué par des corrélations de rang (Tau de Kendall) entre le TR, le cvTR et le nombre d'états (tableau 16).

Le lien entre le TR et le nombre d'états

Les corrélations sont significatives et négatives entre le TR des essais AX (session 3, 4 et 6) et le nombre d'états à la session 2. Ces résultats indiquent que la diminution du TR est liée à l'augmentation du nombre d'états. Le nombre d'états des autres sessions n'est pas lié au TR. Cela suggère que la variabilité de comportement peut être liée à la diminution de la performance dans certains cas (session 2) mais ce lien n'est pas systématique. Pour le cvTR, le lien avec le nombre d'états observé est positif lorsqu'il est significatif dans la majorité des cas (excepté le lien entre les essais cvTR_AX à la session 5 et le nombre d'états à la session 4). Cela suggère que l'augmentation du nombre d'états est liée à l'augmentation du cvTR. Il faut noter que

ce lien n'est pas systématique et qu'il n'est pas seulement associé aux mesures d'une même session. L'augmentation du nombre d'états à la session 3 est associée à l'augmentation du cvTR des essais BY pour la même session. L'augmentation du nombre d'états à la session 6 est associée à l'augmentation du cvTR des essais AY et BY de la même session et également à l'augmentation du cvTR des essais BX et AY de la session 1. L'augmentation du cvTR des essais BY de la session 6 est associée à l'augmentation du nombre d'états à la session 5. L'augmentation du cvTR aux essais BX à la session 1 est liée à l'augmentation du nombre d'états à la session 2. L'observation des corrélations indique un lien entre le nombre d'états à la session 6 et le cvTR des sessions 1 et 6. La relation entre le nombre d'états et le cvTR pourrait être plus forte lorsque le nombre d'états est estimé à partir des performances à une tâche relativement apprise par le participant.

Au total, l'augmentation du nombre d'états intra-tâche est associée à une diminution du TR et une augmentation du cvTR lorsque les relations sont significatives.

Tableau 16 : Corrélations de rang (Tau de Kendall) entre le nombre d'états identifié par les analyses de profils individuels au sein de chaque session (1 à 6), le TR et le cvTR, selon l'essai et la session.

| | session 1 | session 2 | session 3 | session 4 | session 5 | session 6 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| TR | | | | | | |
| AX session 3 | ns | -,324* | ns | ns | ns | ns |
| AX session 4 | ns | -,291* | ns | ns | ns | ns |
| AX session 6 | ns | -,297* | ns | ns | ns | ns |
| cvTR | | | | | | |
| AX session 5 | ns | ns | ns | -,321* | ns | ns |
| BX session 1 | ns | ,288* | ns | ns | ns | ,348* |
| AY session 1 | ns | ns | ns | ns | ns | ,304* |
| AY session 2 | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| AY session 6 | ns | ns | ns | ns | ns | ,342* |
| BY session 3 | ns | ns | ,314* | ns | ns | ns |
| BY session 6 | ns | ns | ns | ns | ,342* | ,342* |

Les corrélations entre le nombre d'états identifié par les analyses de profils individuels et les mesures du MSSD (MSSD et IRR.MSSD) sont significatives et positives aux sessions 1, 2, 3 et 6, cela suggère que l'augmentation du nombre d'états

est liée à l'augmentation de l'instabilité temporelle et de son irrégularité (tableau 17). Le lien n'est pas significatif aux sessions 4 et 5. De plus, on observe que ce lien est révélé seulement au sein d'une même session, ce qui traduit une instabilité du comportement d'une session à l'autre (le nombre d'états de la session 1 est lié seulement au MSSD de la session 1 et pas à celui des autres sessions, le même schéma est observé aux sessions 2, 3, 6). Cela suggère que le nombre d'états est lié à l'instabilité temporelle de manière concomitante, ce qui n'est pas le cas du lien entre que le nombre d'états et le cvTR.

Tableau 17 : Corrélations de rang (Tau de Kendall) entre le nombre d'états identifié au sein d'une session et les mesures de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) à chaque session de 1 à 6.

| | session 1 | session 2 | session 3 | session 4 | session 5 | session 6 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| MSSD 1 | ,336* | ns | ns | ns | ns | ns |
| MSSD 2 | ns | ,343* | ns | ns | ns | ns |
| MSSD 3 | ns | ns | ,379** | ns | ns | ns |
| MSSD 4 | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| MSSD 5 | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| MSSD 6 | ns | ns | ns | ns | ns | ,298* |
| IRR.MSSD 1 | ,341* | ns | ns | ns | ns | ns |
| IRR.MSSD 2 | ns | ,408** | ns | ns | ns | ns |
| IRR.MSSD 3 | ns | ns | ,400** | ns | ns | ns |
| IRR.MSSD 4 | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| IRR.MSSD 5 | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| IRR.MSSD 6 | ns | ns | ns | ns | ns | ,329* |

* p<.05 ; ** p<.01

4.2.1. Evolution au cours des sessions de la variation d'états

Pour étudier l'effet de la répétition de la tâche sur le nombre d'états intra-tâche, nous avons effectué une analyse de variance à mesures répétées. Le nombre d'états est la variable dépendante et le facteur intra-sujet est la session (6 modalités). Les résultats des analyses indiquent qu'il n'y a pas d'effet de la session sur le nombre d'états.

Les mêmes analyses sont réalisées avec l'introduction dans les analyses comme covariable du groupe d'appartenance de l'individu (niveau faible ou élevé) dans chaque domaine mesuré lors du bilan à l'entrée dans l'étude (résistance à l'interférence, vitesse, mémoire visuo-spatiale, mémoire épisodique/efficacité générale et dispersion).

Les résultats des analyses n'indiquent pas d'effet principal de la session, ni d'effet d'interaction entre le facteur intra-sujet session et les covariables. Il n'y a pas d'effet du niveau d'efficacité cognitive sur le nombre d'états intra-tâche.

4.3. Apport prédictif des mesures de variabilité intra-individuelle

Dans cette dernière partie, nous proposons d'étudier l'apport prédictif de la VII de la performance, sur le niveau d'efficacité évalué plusieurs mois plus tard.

Comme cela a été indiqué, la tâche AX-cpt et le TMT ont été réalisés par les participants à t7, c'est-à-dire 3 mois après la sixième évaluation et à t8 c'est-à-dire 6 mois après t7 (29 participants ont effectué les 7 premières sessions d'évaluation et 25 participants ont effectué les 8 sessions d'évaluation). Nous posons donc la question de l'apport prédictif des indicateurs de VII (dispersion et variabilité entre les items) tel qu'ils ont été mesurés dans l'étude sur l'efficacité cognitive évaluée par la tâche de contrôle AX-cpt et la tâche de flexibilité attentionnelle : le TMTB. L'objectif est également de comparer l'apport prédictif des différents indicateurs à savoir, la dispersion évaluée à l'entrée dans l'étude à t0, la VII des TR (cvTR), l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) et le nombre d'états intra-tâche.

Pour répondre à ces objectifs, des analyses de régression ont été réalisées. Les TR mesurés à t7 et à t8 à la tâche AX-cpt et au TMTB ont été régressés successivement sur la dispersion évaluée à t0 avec le contrôle de la performance moyenne, sur cvTR, sur MSSD et sur IRR.MSSD et sur le nombre d'états estimé pour chaque participant à la tâche AX-cpt réalisée à chaque session des sessions 1 à 6 en contrôlant le TR moyen de chaque session pour les analyses portant sur les effets des variables cvTR, MSSD et IRR.MSSD. L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau 18. Le détail des résultats incluant l'effet de la performance moyenne est proposé en annexe (annexe 3) pour chaque analyse effectuée.

Tableau 18 : Résultats des analyses de régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur les indicateurs de VII de la performance, dispersion à t0, cvTR, instabilité temporelle (MSSD) irrégularité de l'instabilité temporelle (IRR.MSSD) et nombre d'états à chacune des 6 premières sessions, (pour les prédicteurs cvTR, MSSD et IRR.MSSD le TR est contrôlé).

| Mesure | t7 | | | | | t8 | | | | |
|------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| | TR_AX | TR_BX | TR_AY | TR_BY | TR_TMTB | TR_AX | TR_BX | TR_AY | TR_BY | TR_TMTB |
| β | β | β | β | β | β | β | β | β | β | β |
| dispersion | ns | 0,35* | ns | 0,27* | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| cvTR1 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| cvTR2 | -0,31* | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| cvTR3 | ns | ns | ns | -0,31** | ns | -0,24* | ns | ns | -0,29* | ns |
| cvTR4 | ns | -0,57*** | ns | -0,54*** | ns | ns | -0,49** | ns | -0,29* | ns |
| cvTR5 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 0,49*** | ns | ns |
| cvTR6 | ns | 0,27* | ns | ns | 0,38* | -0,14* | ns | ns | ns | ns |
| MSSD1 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| MSSD2 | -0,32* | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| MSSD3 | 0,23* | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 0,45** | ns | ns |
| MSSD4 | ns | ns | ns | ns | 0,52** | ns | ns | ns | ns | 0,45** |
| MSSD5 | ns | 0,24* | ns | ns | 0,47** | ns | ns | 0,43** | ns | 0,43** |
| MSSD6 | 0,29* | ns | 0,36*** | ns | ns | ns | ns | 0,44** | -0,25* | ns |
| IRR.MSSD1 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 0,30* | ns |
| IRR.MSSD2 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| IRR.MSSD3 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 0,32* | ns | ns |
| IRR.MSSD4 | ns | ns | ns | ns | 0,42* | ns | ns | ns | ns | 0,36* |
| IRR.MSSD5 | ns | 0,26* | ns | ns | 0,51** | ns | ns | 0,39** | ns | 0,47** |
| IRR.MSSD6 | 0,24* | ns | 0,33*** | ns | ns | ns | ns | 0,43** | ns | ns |
| état1 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| état2 | -0,49** | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| état3 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| état4 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| état5 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| état6 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

β estimation standardisée ; * p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

4.3.1. Apport prédictif du niveau de dispersion

Pour évaluer l'apport prédictif de la dispersion mesurée à t0 sur le TR à la tâche AX-cpt et sur le TR au TMTB à t7 et à t8, des analyses de régression ont été réalisées avec la dispersion (ETi) en prédicteur, le TR (milliseconde) à chaque type d'essai (TR_AX, TR_BX, TR_AY et TR_BY) de la tâche AX-cpt et le TR au TMTB (seconde) en variables dépendantes. Une analyse est réalisée par variable dépendante. Pour contrôler le niveau de performance moyen au bilan (Mi), ce dernier est ajouté aux modèles en tant que prédicteur. Nous constatons que l'augmentation de la dispersion s'accompagne d'une augmentation du TR aux essais BX et BY à t7 (tableau 18) et n'a pas d'effet sur la performance mesurée à t8. L'augmentation de Mi s'accompagne d'une diminution des TR aux 4 types d'essais et au TMTB à t7 et à t8, $ps < .05$ (résultats détaillés en annexe 3.1, tableau 22). L'effet de la dispersion sur le TR est donc moins univoque que l'effet de Mi. Cependant l'effet négatif de la dispersion sur la vitesse aux essais BX et BY n'apparaît pas sur la vitesse aux essais AX et AY. La dispersion serait donc un prédicteur de la performance qui varie selon l'essai ce qui n'est pas le cas du niveau moyen de performance. La dispersion n'a pas non plus d'effet sur le TR au TMTB. La dispersion n'a pas d'impact sur la capacité de flexibilité attentionnelle telle qu'elle est mesurée par le TMTB. La dispersion présente donc un apport prédictif du TR aux essais BX et BY indépendamment du niveau moyen de la performance aux tests cognitifs. Toutefois cet apport prédictif est montré à t7 (i.e., 6 mois après la mesure de la dispersion) et n'apparaît plus à t8, (i.e., 12 mois après les mesures de dispersion).

4.3.2. Apport prédictif de la VII des TR

- Apport prédictif de cvTR (TR contrôlé) de t1 à t6 sur t7 et t8

Nous nous intéressons maintenant à l'apport prédictif de la VII des TR à la tâche AX-cpt lorsque le TR moyen est contrôlé de la session 1 à 6 pour rendre compte de la performance à t7 et t8 à la tâche AX-cpt et au TMTB.

Nous commençons par étudier le lien entre les cvTR à la tâche AX-cpt des sessions 1 à 6. Les corrélations (tableau 19) indiquent que le cvTR de la session 1 est lié positivement à celui des 4 sessions suivantes espacées de 15 jours, mais pas à

celui de la dernière (session 6). Les corrélations entre le cvTR mesuré à la session 2 et les cvTR des autres sessions ne sont pas significatives. Le cvTR de la session 3 n'est pas lié aux cvTR des sessions 5 et 6. Il n'y a pas de lien corrélationnel entre le cvTR mesuré à la session 4 et le cvTR mesuré à la session 6.

Tableau 19 : Corrélations entre le cvTR des 6 premières sessions d'évaluation.

| Correlations | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | cvTRS1 | cvTRS2 | cvTRS3 | cvTRS4 | cvTRS5 |
| cvTRS2 | ,422* | | | | |
| cvTRS3 | ,709** | ,239 | | | |
| cvTRS4 | ,441* | ,021 | ,529** | | |
| cvTRS5 | ,403* | ,252 | ,324 | ,530** | |
| cvTRS6 | ,301 | ,242 | ,249 | ,336 | ,414* |

*p<.05 ; **p<.01

Même si nous pouvons noter que l'augmentation du cvTR mesurée à la première session est liée à l'augmentation du cvTR des 4 sessions suivantes, les résultats indiquent une certaine variabilité du cvTR au travers des sessions au niveau du groupe ce qui ne nous permet pas de calculer un indicateur moyen individuel d'inconsistance sur les 6 sessions.

Des analyses de régression ont été conduites pour déterminer l'impact du cvTR à la tâche AX-cpt de chaque session sur le TR à la tâche AX-cpt et sur le TR au TMTB aux évaluations effectuées à t7 et à t8. Nous avons donc procédé à une analyse par session, de la session 1 à 6, pour mesurer l'impact du cvTR sur la performance évaluée plusieurs mois plus tard. Pour chacune des analyses le TR moyen à la tâche AX-cpt est contrôlé par son introduction dans le modèle. Comme précédemment, la performance à la tâche AX-cpt à t7 et t8 est évaluée par le TR moyen en milliseconde de chaque type d'essai (TR_AX, TR_BX, TR_AY et TR_BY). Les résultats des analyses apparaissent dans le tableau 18 et sont détaillés en annexe 3.2 (tableaux 23 à 28).

Nous notons l'impact positif et hautement significatif du TR mesuré de la session 1 à 6 sur les TR à la tâche AX-cpt et sur le TR au TMTB mesurés à t7 et t8, $p < .05$. Avec une exception, le TR mesuré à la session 6 n'a pas d'impact sur le TR au TMTB évalué à t7. S'agissant de l'impact du cvTR sur les performances mesurées à t7 et à t8, des relations positives et négatives sont observées parmi l'ensemble des

résultats. Le cvTR mesuré à la session 1 n'a pas d'impact ni sur le TR à la tâche AX-cpt ni sur le TR au TMTB réalisés à t7 et t8.

Relations négatives

Contrairement aux attentes, l'augmentation du cvTR mesuré à la session 2 s'accompagne d'une diminution du TR_AX mesuré à t7, la même relation entre cvTR et TR_AX est retrouvée entre cvTR mesuré à la session 3 et TR_AX à t8, et entre cvTR mesuré à la session 6 et TR_AX à t8. De plus, la relation entre cvTR et TR_BY apparait négative, à la fois entre cvTR mesuré à la session 3 et TR_BY à t7 et à t8, et entre cvTR mesuré à la session 4 et TR_BY à t7 et t8. Un impact négatif du cvTR mesuré à la session 4 sur TR_BX est mis en évidence à t7 et à t8.

Relations positives

Un impact positif du cvTR mesuré à la session 6 est observé sur TR_BX à t7. L'augmentation du TR au TMTB à t7 s'explique par l'augmentation du cvTR mesuré à la session 6. Enfin, les résultats indiquent un effet positif du cvTR mesuré à la session 5 sur TR_AY à t8.

Au total, la diminution du TR des essais AX et BY, les deux types d'essais les moins exigeants en processus de contrôle, est associée à une augmentation du cvTR (lorsque cette relation est significative) alors que l'augmentation du TR aux essais BX (inducteur de biais d'inhibition) s'explique par une diminution du cvTR mesuré à la session 4 et par une augmentation du cvTR mesuré à la session 6. Et l'augmentation du TR des essais AY (inducteur de biais d'attente) à t8 s'explique par l'augmentation du cvTR mesuré seulement à la session 5.

On note, que jusqu'à la session 4, la relation entre le cvTR et la performance à t7 et à t8 est négative et signe une augmentation de la VII des TR associée à une augmentation de la vitesse de traitement. De plus, elle paraît positive pour les sessions 5 et 6. Le cvTR mesuré à la session 6 est en effet indépendant de celui des sessions 1 à 4. Le TMTB nécessite de la flexibilité cognitive et l'inhibition d'un schéma de réponse pour en traiter un autre (alternance entre traitement des chiffres et des lettres), la résolution de l'essai BX nécessite l'inhibition du contexte cible AX, dans ces deux cas, l'augmentation de la VII à la session 6 est liée à une plus grande difficulté à traiter ces situations. Les résultats sont en faveur d'une relation positive entre la vitesse et le cvTR dans des situations simples (AX et BY). La nature de la

relation entre cvTR et le TR à l'essai BX est discutable. Toutefois l'augmentation du cvTR lors de la 5^{ème} et de la 6^{ème} répétition de la tâche semble avoir un effet négatif sur la vitesse de réponse dans les conditions nécessitant du contrôle (AY, BX et TMTB).

Pour compléter ce tableau et au vu des précédents résultats qui désignent le cvTR aux essais BX (inducteur de biais d'inhibition) supérieur à celui des autres essais (voir supra), nous proposons d'étudier l'impact du cvTR à l'essai BX sur la performance à t7 et t8. Nous avons procédé comme précédemment, des analyses de régressions ont été réalisées avec le prédicteur cvTR_BX de la session 1 à 6. Une analyse a été réalisée par session. Les variables à expliquer sont le TR à la tâche AX-cpt (AX, BX, AY et BY) et le TR au TMTB à t7 et à t8. Les analyses ont également été réalisées séparément pour chaque variable à expliquer. Le TR moyen à l'essai BX est contrôlé pour chaque session par son introduction dans le modèle en tant que prédicteur. Nous commençons par noter un effet positif du TR aux essais BX de chaque session sur la performance évaluée à t7 et à t8 (AX-cpt et TMTB), pour chacune des analyses effectuées, $ps < .05$. Les résultats des analyses de régression sont résumés dans le tableau 20, le détail des résultats est présenté en annexe (voir annexe 3.5, tableaux 41 à 46). Les résultats indiquent un lien entre le cvTR des essais BX et la performance évaluée à t7 et t8 à la tâche AX-cpt et au TMTB indépendamment du TR moyen. Comme précédemment, on observe un impact négatif du cvTR aux essais BX sur le TR (aux essais AX, BX et BY), lorsque la relation est significative et une augmentation du cvTR_BX (session 5) associée à l'augmentation du TR aux essais AY à t8. Il n'y a pas d'effet du cvTR_BX sur le TR au TMTB. Il n'y a pas de relation positive entre le cvTR_BX et le TR aux essais BX.

L'inconsistance aux essais inducteurs de biais d'inhibition ne semble donc pas avoir un apport prédictif à la performance à t7 et à t8 qui soit plus informatif que le cvTR à l'ensemble des réponses de la tâche AX-cpt.

Tableau 20 : Analyses de régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR aux essais BX avec le contrôle de TR aux essais BX.

| Mesure | t7 | | | | | t8 | | | | |
|----------|---------------|----------------|---------|-----------------|---------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------|
| | TR_AX | TR_BX | TR_AY | TR_BY | TR_TMTB | TR_AX | TR_BX | TR_AY | TR_BY | TR_TMTB |
| | β | β | β | β | β | β | β | β | β | β |
| cvTR_BX1 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | -0,30* | ns | ns | ns |
| cvTR_BX2 | -0,39* | -0,29** | ns | -0,40** | ns | -0,37* | ns | ns | -0,36* | ns |
| cvTR_BX3 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| cvTR_BX4 | ns | -0,30** | ns | -0,39*** | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| cvTR_BX5 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 0,45*** | ns | ns |
| cvTR_BX6 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | -0,20* | ns |

β estimation standardisée ; * p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

- Apport prédictif de l'instabilité temporelle et de son irrégularité (MSSD et IRR.MSSD)

Nous avons procédé de la même manière que précédemment pour évaluer l'impact de l'instabilité temporelle et de son irrégularité au travers des essais sur la performance évaluée à t7 et T8. Les corrélations (tableau 21) indiquent que les mesures de l'instabilité temporelle, le MSSD et IRR.MSSD des 6 premières sessions d'évaluation ne sont pas toutes corrélées entre elles de manière significative et ne nous permettent pas de calculer un indicateur moyen individuel de l'instabilité temporelle. Cependant les corrélations sont significatives et positives entre les sessions 3 et 6 (MSSD) et entre les sessions 4 et 6 (IRR.MSSD). Cela suggère que les mesures de l'instabilité temporelle pourraient avoir un impact différent sur la performance évaluée à t7 et t8 selon qu'elles soient mesurées au début ou à la fin des 6 premières évaluations. La familiarité de la tâche AX-cpt (ou entraînement) conduit à des mesures de l'instabilité temporelle plus consistantes au cours du temps. Nous avons donc étudié l'impact de ce prédicteur sur la performance évaluée à t7 et t8, des 6 premières évaluations séparément.

Tableau 21 : Corrélations entre les mesures de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) entre les 6 premières sessions d'évaluation.

| | MSSD1 | MSSD2 | MSSD3 | MSSD4 | MSSD5 |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| MSSD2 | ,242 | | | | |
| MSSD3 | ,257 | ,043 | | | |
| MSSD4 | ,471** | ,191 | ,578** | | |
| MSSD5 | ,111 | ,183 | ,414* | ,689** | |
| MSSD6 | ,057 | ,068 | ,489** | ,438* | ,525** |

| | IRR.MSSD1 | IRR.MSSD2 | IRR.MSSD3 | IRR.MSSD4 | IRR.MSSD5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| IRR.MSSD2 | ,090 | | | | |
| IRR.MSSD3 | ,144 | -,021 | | | |
| IRR.MSSD4 | ,410* | ,129 | ,455* | | |
| IRR.MSSD5 | -,012 | ,015 | ,265 | ,602** | |
| IRR.MSSD6 | -,007 | -,033 | ,304 | ,485** | ,601** |

* $p < .05$; ** $p < .01$

- Impact du MSSD et de IRR.MSSD de t1 à t6 (TR contrôlé) sur la performance à t7 et à t8

Pour chaque session une analyse de régression est réalisée, le TR moyen est contrôlé par son ajout dans le modèle. Les résultats pour chaque session de 1 à 6 sont présentés dans le tableau 18 et les résultats détaillés des analyses sont présentés en annexe (annexe 3.3, tableaux 29 à 34). Comme précédemment, nous notons un impact du TR sur la performance évaluée à t7 et t8, l'augmentation du TR est associée à une augmentation des TR à la tâche AX-cpt et au TMTB, $ps < .05$. De plus comme cela est suggéré par les corrélations précédentes (tableau 21) l'impact des mesures du MSSD sur la performance à t7 et t8 augmente avec les sessions. Au-delà de la session 3 les relations significatives sont plus nombreuses. A la première session, l'instabilité temporelle n'est pas liée à la performance évaluée à t7 et à t8 et l'augmentation de l'irrégularité de l'instabilité temporelle est cependant liée à l'augmentation du TR_BY à t8. A la session 2, l'augmentation du MSSD est liée à la diminution du TR_AX à t7, et ce lien n'apparaît pas significatif entre IRR.MSSD et TR_AX. A la session 3, l'augmentation du MSSD est liée à l'augmentation du TR_AX à t7 et à l'augmentation du TR_AY à t8, l'augmentation de IRR.MSSD est liée à l'augmentation du TR_AY à t8. Les mesures MSSD et IRR.MSSD à la session

4 sont liées à l'augmentation du TR au TMTB à t7 et à t8. On note également que l'augmentation du TR à la session 4 n'est pas liée à celle du TMTB lorsque le modèle inclut la valeur du MSSD. L'augmentation du MSSD et de IRR.MSSD à la session 5 sont de nouveau associées à l'augmentation du TR au TMTB à t7 et à t8 et, de plus, à celles du TR_BX à t7 et du TR_AY à t8. Le lien entre les mesures MSSD et IRR.MSSD à la session 6 et TR_TMTB à t7 et t8 n'est plus significatif mais l'augmentation de MSSD et IRR.MSSD est associée à l'augmentation de TR_AY à t7 et t8. De plus, l'augmentation de MSSD et de IRR.MSSD est associée à l'augmentation du TR_AX à t7. Enfin l'augmentation du MSSD à la session 6 est associée à une diminution du TR_BY à t8. Ce lien négatif n'est pas retrouvé entre IRR.MSSD et TR_BY. A total, le lien entre IRR.MSSD et le TR évalué à t7 et t8 n'est jamais négatif contrairement au lien entre MSSD et TR, ce qui suggère que l'irrégularité de l'instabilité temporelle est un indicateur de VII plus fiable pour prédire une diminution de la performance. D'après l'ensemble de ces résultats, l'augmentation des mesures de l'instabilité temporelle et de son irrégularité prédisent la diminution de la performance évaluée plusieurs mois plus tard à la tâche AX-cpt et au TMTB plus particulièrement lorsque ces mesures sont réalisées après un minimum d'entraînement à la tâche AX-cpt. On remarque également que ces mesures, permettent de prédire particulièrement la performance à l'essai AY (à t8) et au TMTB (t7 et t8), et seraient donc de bons indicateurs de la performance lorsque la tâche exige des processus de contrôle cognitif. Enfin l'irrégularité de l'instabilité temporelle paraît être un prédicteur plus pertinent que la mesure de l'instabilité temporelle et donc à prendre en compte dans l'étude de l'apport prédictif de la VII sur la diminution de la performance.

4.3.3. Apport prédictif du changement d'états intra-tâche

Les corrélations présentées dans le tableau 15 (p.151) n'ont pas montré de lien entre le nombre d'états des sessions 1 à 6, excepté entre la session 1 et la session 4, et entre la session 5 et la session 6. De plus, certains individus sont associés autant à 1 état qu'à 2 états sur l'ensemble des 6 premières sessions (figure 37, p.150, par exemple : individus 6 et 8). Il n'est donc pas opportun de résumer le nombre d'états d'un même individu sur l'ensemble des 6 premières sessions pour définir la valeur prédictive du changement d'états au cours de la tâche sur la performance évaluée

plusieurs mois plus tard. Nous déterminons donc l'impact du nombre d'états de chaque session séparément sur la performance à la tâche AX-cpt et au TMTB à t7 et à t8. Pour répondre à cet objectif, des analyses de régression sont conduites. La variable indépendante est le nombre d'états intra-tâche et la variable dépendante est le TR évaluée à t7 puis à t8 à la tâche AX-cpt et au TMTB. Pour la mesure de la performance à la tâche AX-cpt, nous procédons de la même manière que précédemment, le TR de chaque type d'essai à t7 puis à t8 est régressé par le nombre d'états individuel. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 18 et détaillés en annexe (annexe 3.4, tableaux 35 à 40). Ils n'indiquent pas de lien entre le nombre d'états intra-tâche et la performance à la tâche AX-cpt et au TMTB évaluée à t7 et à t8. On note une seule exception, l'augmentation du nombre d'états à la session 2 est associée à une diminution du TR_AX à t7. Les autres relations ne sont pas significatives. Ce résultat isolé est donc trop faible pour conclure à une relation entre le nombre d'états et la performance à la tâche AX-cpt et au TMTB évaluée plusieurs mois plus tard. Le changement d'états intra-tâche mis en évidence par les analyses de profils individuels ne permet donc pas de prédire le niveau d'efficacité cognitive.

4.3.4. Comparaison des indicateurs de VII de la performance

Nous proposons une comparaison de la valeur prédictive des indicateurs de VII sur le niveau d'efficacité cognitive évalué 3 mois, puis 6 mois après la première vague des 6 évaluations cognitives espacées de 15 jours. Comme cela a été noté, nous avons mesuré plusieurs formes de VII. La 1^{ère} est le niveau de dispersion évalué à t0, qui traduit l'hétérogénéité entre les performances aux tests cognitifs pour un même individu. La 2^{ème} forme de VII est mesurée par le cvTR qui traduit la VII des temps de réponse entre les essais d'une même tâche. La 3^{ème} forme est le MSSD qui mesure l'instabilité temporelle au travers des essais, la 4^{ème} liée à la précédente est l'IRR.MSSD qui permet une mesure de l'irrégularité de l'instabilité temporelle au travers des essais d'une même tâche. Enfin la dernière forme de VII est le changement d'états intra-tâche qui met en évidence un changement de comportement latent au sein d'une même tâche. Les analyses précédentes ont montré que ces indicateurs de VII avaient un effet sur la performance cognitive évaluée plusieurs mois plus tard indépendamment du niveau moyen de performance, cependant cet effet n'est pas systématique, il dépend de la mesure de l'efficacité cognitive

(TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY et TR_TMTB), du moment de son évaluation (t7 et t8) et du moment de l'évaluation de la VII (de la 1^{ère} à la 6^{ème}). De plus des différences sont observées entre les indicateurs de VII sur la capacité à prédire l'efficacité cognitive.

On observe principalement que l'augmentation de la dispersion est associée à une augmentation du TR à la tâche AX-cpt mais pas à l'augmentation du TR du TMTB, alors que le cvTR, le MSSD et l'IRR.MSSD ont un effet sur le TR à la tâche AX-cpt et sur le TR au TMTB. Qu'il s'agisse du cvTR ou du MSSD, le lien entre ces indicateurs de VII et la performance à t7 et t8 apparaît seulement lorsque ces mesures de VII sont réalisées après une répétition de la tâche et ce lien apparaît plus clair après quelques répétitions de la tâche (à partir de la session 3 pour cvTR, de la session 3 pour MSSD et de la session 4 pour IRR.MSSD). Le cvTR semble davantage être lié à une diminution des TR à la tâche AX-cpt, cependant on note que concernant les essais AY, l'augmentation du cvTR est associée à une augmentation du TR. Le cvTR mesuré à la session 6 est lié à l'augmentation du TR_BX et du TR_TMTB à t7 et à la diminution du TR_AX à t8. Ces éléments indiquent que la variation du cvTR est liée à la performance évaluée à t7 et t8 mais la nature de ce lien est variable sur la performance à t7 et t8 et dépend des caractéristiques de la tâche. Le lien entre les mesures de l'irrégularité de l'instabilité temporelle et la performance évaluée quelques mois plus tard est plus univoque que celui entre l'instabilité temporelle et la performance. On remarque en effet que l'augmentation du MSSD mesuré à la session 2 est liée à une diminution du TR_AX à t7 et celle du MSSD mesuré à la session 6 est liée à la diminution du TR_BY. Dans les autres cas, l'augmentation du MSSD est systématiquement liée à une augmentation du TR lorsque ce lien est significatif. L'augmentation de l'irrégularité de l'instabilité temporelle mesurée par IRR.MSSD est systématiquement liée à une augmentation des TR quand ce lien est significatif. L'ensemble de ces observations indique que l'irrégularité de l'instabilité temporelle intra-tâche est un indicateur de VII qui permet de prédire la diminution de la performance cognitive évaluée par une tâche de contrôle et une tâche de flexibilité attentionnelle. Nous retenons également que le changement d'états intra-tâche ne permet pas de prédire la performance cognitive. La comparaison du lien entre les indicateurs de VII intra-tâche et la performance évaluée à t7 et à t8, suggère que l'inconsistance de l'instabilité temporelle serait un

indicateur de la diminution de la performance à la tâche AX-cpt et au TMTB indépendamment du TR moyen. L'augmentation du niveau de dispersion a également un effet négatif sur la vitesse de réponse à la tâche AX-cpt indépendamment du niveau moyen de performance. L'augmentation du cvTR serait prédicteur d'une diminution des TR indépendamment du TR moyen et de l'augmentation des TR à l'essai AY. Rappelons que la diminution de la performance à l'essai AY traduit un système préservé de maintien du contexte. Malgré quelques exceptions (cvTR session 6), l'augmentation du cvTR semble prédire une meilleure efficacité cognitive.

5. Discussion

Cette seconde étude permet de traiter plusieurs points pour éclairer l'analyse de la variabilité intra-individuelle de la performance chez la personne âgée. En effet, plusieurs niveaux de variabilité ont été étudiés : la dispersion, la VII des TR (cvTR et instabilité temporelle des TR) et la variabilité d'états latents lors de la réalisation de la tâche AX-cpt. Chaque niveau de VII a été mis en relation avec l'efficacité cognitive évaluée à l'entrée dans l'étude puis avec la performance cognitive à la tâche de contrôle cognitif AX-cpt et au TMTB évaluée plusieurs mois plus tard.

5.1. Relations entre dispersion et performances cognitives

Dispersion et performances aux tests cognitifs

Les résultats des analyses ont permis d'établir le lien entre le niveau de dispersion individuel mesuré à partir des performances aux tests du bilan cognitif réalisé par les participants, et les performances aux tests. L'augmentation du niveau de dispersion est associée à une augmentation des TR dans des tâches simples (TMTA et conditions simples du test de Stroop) c'est-à-dire lorsque le niveau de contrôle exigé pour résoudre la tâche est faible, mais pas à une augmentation des TR dans les conditions complexes impliquant des processus de contrôle (TMTB et condition d'interférence du test de Stroop). Le niveau de dispersion est également associé à la diminution de la performance à la batterie d'évaluation frontale.

Ces premières observations confirment l'idée selon laquelle le niveau de dispersion témoigne de la diminution de l'efficacité cognitive dans certains domaines et suggèrent que le niveau de dispersion serait associé à une diminution de la vitesse de traitement et à la diminution d'un niveau de traitement plus général associé aux fonctions dites frontales. L'augmentation du niveau moyen à l'ensemble des tests est liée à l'augmentation de la performance à tous les tests réalisés par les participants, et il n'y a pas de lien entre le niveau moyen de performance et le niveau de dispersion. La diminution du niveau moyen des scores aux tests est associée à une augmentation de l'âge. L'ensemble de ces résultats indique que le niveau de

dispersion est un indicateur qui diffère du niveau moyen de performance lié seulement au TR de tâches simples et, de plus, qu'il n'est pas lié à l'âge.

Dispersion et efficacité cognitive

A partir des scores du bilan cognitif, le niveau d'efficacité dans quatre domaines cognitifs a pu être calculé pour chaque participant : vitesse de traitement, résistance à l'interférence, mémoire épisodique/efficacité générale et mémoire visuo-spatiale. On peut noter que l'efficacité cognitive évaluée par des tests généraux (MMSE et Bref) est associée aux scores de mémoire épisodique. Cela suggère que l'efficacité de la mémoire épisodique est liée à l'efficacité générale du fonctionnement cognitif davantage qu'à l'efficacité des autres processus évalués par les tests cognitifs. L'augmentation de la dispersion est associée à une diminution de la mémoire épisodique, de l'efficacité générale et de la vitesse de traitement. En accord avec les observations précédentes, un niveau de dispersion élevé est associé à une augmentation des TR à la tâche AX-cpt. La diminution de la vitesse de réponse est associée à un niveau élevé de dispersion quel que soit le type d'essai, inducteur de biais ou non. Ces résultats sont consistants avec l'étude de Christensen et collaborateurs (1999), révélant un fort niveau de dispersion associé à une plus forte détérioration des performances de la mémoire et de la vitesse de traitement.

5.2. Performance à la tâche AX-cpt et impact de l'efficacité cognitive

Précision au paradigme AX-cpt :

La précision du groupe de participants témoigne d'un effet plafond, les erreurs sont rares et pour chaque essai on obtient un taux de bonnes réponses qui varie entre 99.1% et 99.7%. La tâche est donc plutôt réussie par les participants en terme de précision ce qui a permis l'analyse des TR sur l'ensemble des réponses des participants. Cet effet plafond n'apparaissait pas sur la première étude dans laquelle la proportion des essais cibles dans le paradigme AX-cpt était supérieure (70%) à celle de la seconde étude (40%). Cette modification de la tâche dans l'étude 2 permet donc une analyse des TR de la quasi-totalité des réponses des participants.

TR et VII des TR selon l'essai et la session

L'augmentation du TR aux essais AY comparé à celui des autres essais traduit un biais d'attente, le biais d'inhibition est traduit par une augmentation de la VII des TR (cvTR) aux essais BX, supérieure à celle des autres types d'essais. L'effet de la session se traduit par une diminution des TR et de la VII des TR entre la 1^{ère} et la 6^{ème} session d'évaluation. Les biais d'attente et d'inhibition introduits dans la tâche ont bien un effet sur le TR des participants et cet effet est de nature différente. Le biais d'attente est associé à l'augmentation des TR et le biais d'inhibition est associé à l'augmentation de la VII des TR. L'étude de l'inconsistance associée à l'étude du TR moyen permet donc de différencier l'effet des deux types de contrôle induits par les conditions de la tâche sur le comportement cognitif, ce qui n'est pas le cas du TR moyen seul.

Lien entre niveau d'efficience et performance à la tâche AX-cpt

Les participants associés à un niveau de mémoire visuo-spatiale élevé sont plus rapides pour répondre à la tâche que ceux associés à un niveau de mémoire visuo-spatiale faible. Ce résultat indique qu'une meilleure capacité d'encodage visuo-spatial facilite la résolution de l'item et ceci quel que soit l'item. L'écart de VII des TR entre les essais BX et les 3 autres types d'essais (AX, AY et BY) varie selon le niveau de résistance à l'interférence. L'écart est plus important pour le groupe de participants présentant un niveau faible de résistance à l'interférence (la VII des essais BX est supérieure à celle des essais AX, AY et BY) que pour le groupe de participants présentant un niveau élevé de résistance à l'interférence. La différence de VII des TR entre la situation de contrôle inhibiteur et les autres situations est associée au niveau de résistance à l'interférence évalué à l'entrée dans l'étude, tandis que la différence de vitesse pour résoudre la tâche est associée au niveau de mémoire visuo-spatial. L'étude de la VII rend donc compte de la différence de comportement entre les participants liée à la capacité à résister à l'interférence.

Ces résultats indiquent que le niveau de l'efficience cognitive mesurée à l'entrée dans l'étude est associé à la performance à la tâche AX-cpt qu'il s'agisse du TR moyen ou de la VII des TR intra-tâche. L'effet sur le TR des caractéristiques individuelles mesurées à l'entrée dans l'étude n'interagit pas avec les conditions de la tâche (type d'essais) alors que l'effet sur la VII des TR interagit avec les

conditions de la tâche. La variation de la VII témoigne donc d'une modification du comportement pour répondre à une situation qui contraint le système à exercer du contrôle pour inhiber une réponse dominante en comparaison avec des situations plus simples sans contrôle inhibiteur. Cette variation est de plus liée à la capacité des individus à résister à l'interférence. La différence de VII entre les situations simples et les situations de contrôle inhibiteur augmente lorsque la capacité à résister à l'interférence diminue. L'augmentation de la VII pourrait donc traduire une augmentation des besoins du système cognitif de s'adapter à une situation cognitivement coûteuse.

Ces premiers éléments permettent d'une part de mettre en évidence le fait que la VII de la performance apparaît être une mesure plus sensible à la variabilité du niveau d'exigence de la tâche en terme de processus de contrôle cognitif que la performance moyenne et, d'autre part, que la variabilité de l'efficacité cognitive au sein d'un groupe de participants âgés sains se traduit par des différences de VII de la performance au-delà des différences de performances moyennes à une tâche de contrôle cognitif. Enfin l'augmentation de l'âge des participants est associée à une augmentation des TR et n'a pas d'effet sur la VII des TR.

Instabilité temporelle à la tâche AX-cpt

Une diminution des mesures de l'instabilité temporelle et de son irrégularité est observée seulement à la session 5 par comparaison avec la première session. De plus, à la session 6 ces mesures retrouvent un niveau semblable à celui de la session 1. Lorsque les caractéristiques individuelles (niveau d'efficacité, de dispersion et l'âge) sont contrôlées, l'effet de la session n'apparaît plus sur les mesures de l'instabilité temporelle et de son irrégularité. L'instabilité temporelle et son irrégularité au cours des essais sont donc peu sensibles aux répétitions de la tâche. L'âge n'a pas d'effet sur l'instabilité temporelle ni sur son irrégularité. L'instabilité temporelle et l'irrégularité de sa mesure ne sont pas liées aux différences de niveau d'efficacité cognitive des participants.

5.3. Profils de performance individuels et efficience cognitive

Les résultats des analyses de profils individuels ont permis de mettre en évidence des changements de comportements au cours de la réalisation de la tâche AX-cpt. La variabilité du comportement au sein d'une tâche pourrait être une caractéristique plus stable de l'individu dans le seul cas où la tâche est familière.

L'ensemble des résultats suggère que la variation d'états au sein d'une même tâche n'est pas liée au niveau d'efficience cognitive ni à l'âge des individus. L'étude du lien entre la performance à la tâche de contrôle et le nombre d'états a montré que la diminution du TR des essais cibles (AX) aux sessions 3, 4 et 6 n'est liée à l'augmentation du nombre d'états que pour la session 2, ce lien n'est donc pas systématique et ne permet pas de conclure de manière plus générale mais interpelle sur le fait qu'un nombre d'états élevé ne peut être associé à une vitesse de traitement importante que pour les essais cibles.

L'augmentation du nombre d'états est associée à une augmentation de la VII des TR (cvTR) ce lien n'est pas systématique et est plus fréquent lorsque la VII des TR est mise en relation avec le nombre d'états de la session 6. Cette augmentation de la VII des TR en relation avec l'augmentation du nombre d'états intra-tâche concerne les essais non cibles (BX, AY et BY) et non les essais AX (cible). Ce lien n'est donc pas systématique et n'est pas seulement observé pour des mesures d'une même session, ce qui signifie que la VII observée à une session est liée au nombre d'états observé à une session différente et suggère donc que le nombre d'états observé aux sessions 6 serait en lien avec la VII des TR observée également aux premières sessions, ce qui est observé pour les essais BX et AY (biais d'inhibition et biais d'attente). Le lien entre le nombre d'états et la VII des TR est supérieur lorsque le nombre d'états est associé à une situation où la tâche est apprise par le participant par rapport aux situations pour lesquelles la tâche est nouvelle.

L'augmentation du changement de comportement intra-tâche (augmentation du nombre d'états) est étroitement liée à l'augmentation de l'instabilité temporelle et à l'augmentation de son irrégularité pour des évaluations concomitantes, ce qui n'est pas caractéristique du lien entre le nombre d'états et la VII des TR (cvTR).

Les caractéristiques individuelles mesurées à l'entrée dans l'étude (le niveau d'efficience cognitive, le niveau de dispersion et l'âge) ne permettent donc pas

d'expliquer le niveau de changement de comportement intra-individuel intra-tâche. La variation du nombre d'états lors de la réalisation de la tâche de contrôle AX-cpt est donc liée à la performance à la tâche et plus particulièrement aux mesures de l'instabilité temporelle des TR.

5.4. Apport prédictif des indicateurs de VII

Les indicateurs de VII mesurés dans l'étude ont été mis en relation avec la performance à la tâche AX-cpt et au TMTB réalisés par les participants lors des deux dernières rencontres (i.e. à t7 : 3 mois après la 6^{ème} évaluation répétée de la tâche AX-cpt, puis à t8 : 6 mois après t7). L'objectif était d'estimer l'apport prédictif des indicateurs de VII sur la performance ultérieure à l'évaluation de la VII indépendamment du niveau de performance moyen.

L'augmentation de la dispersion rend compte de la diminution de la performance à la tâche AX-cpt à t7 (diminution de la vitesse aux essais BX et BY). Cependant l'effet de la dispersion sur la performance à la tâche AX-cpt n'est pas reproduit à t8 et la dispersion n'est pas associée à la mesure de la flexibilité attentionnelle. De plus, il apparaît que le niveau moyen de performance permet de prédire la performance évaluée à t7 et à t8 à la tâche AX-cpt (à tous les essais) et au TMTB. La dispersion semble alors être un indicateur permettant de discriminer les processus sous-jacents à la réalisation de la tâche ce qui n'est pas le cas du niveau moyen de la performance. La dispersion permet donc de prédire la performance aux essais BX et BY qui ont la particularité de présenter le signal B non-cible, contrairement aux essais AX et AY qui présentent le signal cible A. L'essai BX inducteur de biais cognitif est plus complexe et requiert des processus de contrôle. Cependant, l'essai BY n'induit pas de biais cognitif mais le signal B induit une préparation à la réponse non-cible minoritaire dans la tâche. Cette relation entre le niveau de dispersion et les essais BX et BY est à prendre en compte car elle interroge sur la spécificité des essais BX et BY comparés aux essais AX et AY.

Les analyses effectuées font apparaître le caractère variable de la nature du lien entre l'indicateur de VII des TR intra-tâche (cvTR) et la performance évaluée à t7 et à t8. Elle peut être en effet positive ou négative, ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle la VII des TR est en lien avec le niveau d'efficacité cognitive évalué plusieurs mois plus tard mais le cvTR semble pouvoir traduire

autant une variabilité mal-adaptative qu'adaptative. L'augmentation du cvTR est associée à une diminution des TR à la tâche AX-cpt excepté aux essais AY pour lesquels l'augmentation du cvTR est associée à une augmentation du TR. L'augmentation du TR aux essais AY étant associée à une capacité du maintien du contexte élevée, il semblerait que l'inconsistance des TR traduise une VII adaptative sous-jacente à un niveau d'efficacité élevé. Cependant l'augmentation du cvTR lorsque la tâche est répétée plusieurs fois, pourrait être davantage liée à une inconsistance mal-adaptative sous-jacente à une diminution de l'efficacité des processus de contrôle (ralentissement des TR à BX et au TMTB). Notons que la performance à t7 et à t8 a été évaluée par le TR qui traduit la vitesse de traitement des participants, or, l'écart de la VII des TR entre les essais AX et BX est supérieur pour le groupe de participants présentant un niveau de vitesse élevé à celui constaté pour le groupe de participants présentant un niveau de vitesse faible (supériorité de la VII des TR aux essais BX pour le groupe au niveau élevé comparé à la VII des TR aux essais AX). Ces résultats considérés ensemble suggèrent qu'une inconsistance des TR élevée pourrait être associée à une plus grande vitesse de traitement. Le caractère variable de la relation entre l'inconsistance et le TR pourrait être lié aux mesures effectuées. L'augmentation des TR aux essais AY ne traduit pas une diminution de l'efficacité, elle traduit au contraire un meilleur maintien de l'information contextuelle. Une inconsistance importante pourrait prédire un niveau de vitesse élevé et un meilleur maintien du contexte. L'apport prédictif de l'inconsistance pourrait changer de nature lorsque sa mesure est réalisée après un entraînement conséquent à la tâche. La différence entre les résultats selon le moment de l'évaluation de l'inconsistance (entre la session 1 et la session 6) et selon la performance évaluée à t7 et à t8 indique que d'autres investigations devront être réalisées pour éclairer le lien entre la VII des TR entre les essais d'une tâche évaluée par le coefficient de variation des TR et le niveau d'efficacité cognitive évalué ultérieurement.

Le nombre d'états traduit une variation du comportement au cours d'une même tâche, cet indicateur de VII ne permet pas d'expliquer la performance évaluée plusieurs mois plus tard (i.e. à t7 et à t8). Cette forme de VII intra-tâche pourrait davantage être associée à un comportement normal de l'individu qu'à un déclin cognitif sous-jacent. Elle peut s'interpréter comme une fluctuation du niveau

attentionnel, ou comme une forme de variabilité adaptative aux contraintes de la tâche. Enfin cette forme de variabilité peut traduire une réponse adaptative à l'interaction de ces deux derniers éléments à savoir la fluctuation du niveau attentionnel et les contraintes de la tâche, mais n'apparaît pas être en lien avec l'efficacité cognitive.

Au total, l'ensemble des résultats a montré que l'augmentation de l'instabilité temporelle et les mesures de son irrégularité ont un impact négatif sur la performance (augmentation des TR à la tâche AX-cpt et au TMTB) indépendamment du TR moyen. L'irrégularité de l'instabilité temporelle intra-tâche paraît être un prédicteur du niveau de performance évalué par les tâches de contrôle cognitif (AX-cpt) et de flexibilité attentionnelle (TMTB) plus puissant que l'instabilité temporelle. L'irrégularité de l'instabilité temporelle pourrait donc signer une diminution de l'efficacité cognitive latente ce qui n'est pas le cas du cvTR ni du nombre d'états. La comparaison de l'apport prédictif des indicateurs de VII sur la performance indique que le niveau de dispersion et l'irrégularité de l'instabilité temporelle ont un impact négatif sur la vitesse de traitement au-delà de la performance moyenne et que l'irrégularité de l'instabilité temporelle semble être un indicateur plus pertinent de l'efficacité cognitive que l'instabilité temporelle. Selon la forme de VII des TR (cvTR, MSSD, ou changement d'états), nous obtenons des conclusions bien différentes. Cela montre toute l'importance de la mesure de la VII dans l'explication du fonctionnement cognitif. Le lien entre la VII des TR et l'efficacité cognitive semble donc varier selon la mesure de la VII considérée.

Partie III: Discussion générale

1. L'étude de la VII auprès d'un groupe de personnes âgées

Le constat selon lequel la VII de la performance cognitive augmente avec l'avancée en âge à l'âge adulte a été la base de notre étude. Nous nous sommes plus précisément intéressés au lien qu'entretiennent la VII de la performance cognitive et le niveau d'efficacité chez la personne âgée pour rendre compte de cette augmentation. Nous nous sommes également posé la question de la stabilité des mesures de VII entre différentes occasions de mesure. L'objectif est ici d'apporter des éléments de réponse aux questions concernant l'étude du vieillissement cognitif. L'âge s'accompagne de nombreux changements dans l'efficacité des processus mnésiques et attentionnels. La capacité à exercer du contrôle cognitif dans les situations les plus exigeantes semble être particulièrement affectée avec l'avancée en âge. Les personnes âgées montrent un niveau de diversité supérieur à celui des personnes jeunes dans ce type de situations les plus coûteuses (West *et al.*, 2002). Le vieillissement semble donc affecter différemment les individus. Plusieurs études ont déjà montré qu'une VII élevée serait associée à une diminution de la performance à des tâches cognitives. La VII permettrait donc de distinguer les individus selon leur âge et selon leur niveau d'efficacité cognitive (Christensen, *et al.*, 1999 ; Hilborn *et al.*, 2009 ; Papenberg *et al.*, 2011). Certains auteurs ont montré que l'inconsistance de la vitesse au cours des essais d'une tâche permettait de distinguer des profils d'atteintes cognitives (Strauss *et al.*, 2007) et de différencier un vieillissement normal d'un vieillissement pathologique (Dixon *et al.*, 2007) au-delà du niveau moyen de la performance. Le lien entre cette forme de variabilité intra-individuelle, mesurée à partir des performances d'un même individu, et une diminution des capacités cognitives survenant ultérieurement à la mesure de cette variabilité, a également été établi par quelques études (Bielak *et al.*, 2010). Ce domaine d'étude de la psychologie du vieillissement vise donc à rendre compte de la différence observée entre les individus âgés. Plusieurs auteurs ont proposé des théories pour expliquer la variabilité des effets du temps sur la cognition entre les individus. Par exemple, l'hypothèse de la réserve cognitive suppose l'implication de mécanismes compensatoires en réponse aux modifications cérébrales liées à l'âge. Elle découle de l'observation selon laquelle pour des atteintes cérébrales semblables, des différences

de performances cognitives sont observées entre les individus. Plusieurs facteurs seraient responsables de la variabilité entre les individus, comme par exemple, le niveau d'étude et les interactions sociales. Il semblerait que l'étude de la VII du comportement cognitif permettrait d'enrichir le tableau du vieillissement cognitif pour expliquer les différences entre les individus âgés. Cependant les mesures de la VII diffèrent selon les auteurs ce qui rend la synthèse des conclusions complexes. La question de savoir si la VII de la performance est une manifestation d'une difficulté cognitive ou au contraire si elle rend compte d'une forme de variabilité adaptative reste ouverte. L'adaptation aux changements liés à l'âge pourrait se traduire par une augmentation de la VII du comportement dans la réalisation de tâches cognitives ce qui expliquerait l'augmentation de la VII dans la population âgée comparée à celle des jeunes adultes. Le niveau de VII pourrait varier d'un individu à l'autre, traduisant alors une plus ou moins grande adaptation individuelle aux changements liés à l'âge. Cependant une plus grande VII pourrait traduire un changement négatif de l'efficacité du comportement pour résoudre des tâches cognitives. La VII de la performance pourrait donc expliquer les différences de statut cognitif chez la personne âgée (niveau d'efficacité plus ou moins préservé) dans certains domaines et apporter des informations au-delà du niveau moyen de la performance sur le fonctionnement cognitif. C'est pour éclairer ces questions sur la manifestation d'une VII chez la personne âgée supérieure à celle des jeunes adultes que nous avons mené cette étude basée sur la VII de la performance chez la personne âgée.

Nous avons donc proposé d'évaluer le niveau de plusieurs formes de VII, et l'évolution de certaines d'entre elles au cours du temps. Nous nous sommes également intéressés au lien entre les différents indicateurs de variabilité tels qu'ils ont été mesurés. Pour ce faire, un bilan cognitif ainsi que plusieurs sessions d'évaluation de la performance à une tâche de contrôle cognitif ont été réalisés par les participants. La répétition des occasions de mesure nous a permis d'étudier la stabilité des mesures de variabilité dans le temps, nous nous sommes en effet posé la question de savoir si la VII est une caractéristique stable de l'individu.

Plusieurs points seront discutés : a) la relation entre le niveau de dispersion (ou hétérogénéité de la performance intra-individuelle entre plusieurs tests cognitifs), le niveau d'efficacité et la performance à la tâche de contrôle cognitif (AX-cpt) ; b) la pertinence des indicateurs d'inconsistance de la performance (VII intra-tâche) ;

c) la relation entre l'inconsistance et le niveau de performance; d) la relation entre les indicateurs de VII à savoir dispersion et inconsistance et e) la valeur prédictive de la VII sur des évaluations distales de l'efficacité cognitive à des tâches de contrôle et de flexibilité attentionnelle.

1.1. Dispersion et efficacité cognitive

Les conclusions de l'étude 2 indiquent que l'augmentation de la dispersion est associée à la diminution de la mémoire, de l'efficacité cognitive générale et de la vitesse. Elle est aussi associée à l'augmentation des temps de réponse à la tâche de contrôle AX-cpt. Ce lien avec la performance à la tâche AX-cpt concerne autant les conditions cognitivement coûteuses que les conditions les plus simples ce qui suggère que l'augmentation de la dispersion est liée à un ralentissement général du traitement de l'information. Nous avons noté que l'augmentation de la dispersion n'est pas associée au niveau de résistance à l'interférence ni au niveau de mémoire visuo-spatiale. Nos conclusions sont similaires à celles de Christensen *et al.*, (1999) qui indiquent qu'un niveau de dispersion plus important est associé à une plus forte détérioration des performances de la mémoire et de la vitesse. Elles sont également cohérentes avec celles de Hilborn et collaborateurs (2009) selon lesquelles un niveau de dispersion élevé peut servir d'indicateur de l'intégrité cognitive. Selon ces auteurs, un plus haut niveau de dispersion est observé chez les personnes âgées de plus de 75 ans pour un groupe de 65 à 92 ans. Cependant la mesure de la dispersion que nous avons proposée n'est pas liée à l'âge du groupe de participants âgés de 61 à 97 ans.

En résumé, l'augmentation de la dispersion est liée au ralentissement du traitement de l'information et à la diminution de la capacité de mémoire épisodique et du niveau d'efficacité cognitive générale, elle n'est pas liée à la diminution des capacités de résistance à l'interférence ni à la capacité de mémoire visuo-spatiale. Elle ne dépend pas non plus de l'âge du groupe de participants âgés.

1.2.VII de la performance et contrôle cognitif

- VII des temps de réponse et mécanisme duel de contrôle cognitif

Défendant la théorie d'un mécanisme duel de contrôle cognitif, Braver a montré que la tâche AX-cpt permet l'évaluation distincte de processus de contrôle proactif et réactif (Braver *et al.*, 2001, 2005). Dans l'étude 1, la performance à la tâche AX-cpt a montré que les participants présentaient un système de maintien du contexte préservé, révélé par une diminution de la performance lorsque le contexte maintenu en mémoire devait être inhibé. Nous nous sommes donc basés sur les conclusions de Braver pour distinguer trois groupes de participants selon leur capacité de maintien du contexte, des plus préservés aux moins préservés. Les trois groupes ne montraient pas de différence de TR moyen mais l'inconsistance de la performance (écart-type des TR et coefficient de variation des TR) augmentait du groupe très préservé au groupe moins préservé. La différence d'inconsistance mesurée par l'écart-type dépend du TR moyen ce qui n'est pas le cas lorsque l'inconsistance est mesurée par le coefficient de variation. Deux conclusions importantes sont suggérées par ces résultats: a) La mesure de l'inconsistance par le coefficient de variation serait un indicateur plus fiable que l'écart-type qui dépend du TR moyen ; b) L'inconsistance des TR permet de distinguer les individus selon l'efficacité du système de maintien du contexte ce qui n'est pas le cas du TR moyen. La diminution des capacités du maintien du contexte est associée à une augmentation de l'inconsistance et non à celle des TR. Ces conclusions soulignent l'intérêt de l'étude de l'inconsistance de la performance pour la connaissance des changements cognitifs liés à l'âge. L'analyse de la VII permet donc de rendre compte de différences entre les individus au-delà du niveau de performance moyen. Ces différences concernent les difficultés liées à la mise en œuvre de processus de contrôle réactif et à la diminution de l'efficacité du maintien actif de l'information contextuelle.

- VII des temps de réponse au cours des essais et niveau de performance moyen à une tâche de contrôle

La réalisation de la tâche AX-cpt par les participants a permis d'étudier le lien entre les indicateurs de performance moyenne et de VII de la performance. Les résultats ont montré une relation négative entre la précision et le TR moyen. La VII de la précision augmentait également avec le TR. Cette relation ne concernait pas les

conditions de la tâche pour lesquelles une mise en œuvre de contrôle réactif était requise, mais concernait les conditions simples (sans contrôle) et les conditions sous lesquelles la mise en œuvre de contrôle proactif entraînait un biais d'attente qui devait être corrigé. Cependant la relation négative entre la VII de la précision et le TR moyen dépendait de la précision moyenne. Enfin, le lien entre l'écart-type des temps de réponse et la précision moyenne dépendait du temps de réponse moyen. En effet, l'augmentation des écart-types des TR n'était plus associée à la diminution de la précision moyenne après le contrôle des TR moyens. Le coefficient de variation n'était pas non plus associé à la précision moyenne et ce, avant et après le contrôle des TR. Malgré une apparente relation positive entre la VII de la précision et le TR moyen et une apparente relation négative entre le VII des TR et la précision, ces relations sont dues à la performance moyenne. Ces premières conclusions indiquent que la VII de la performance est sous l'influence de la performance moyenne qui doit être contrôlée, toutefois, le coefficient de variation semble être un indicateur de VII indépendant de la performance moyenne. De plus, nous avons noté que le coefficient de variation des TR est indépendant du TR moyen contrairement à l'écart-type, excepté aux essais BX inducteurs de biais d'inhibition pour lesquels l'augmentation du coefficient de variation est associée à l'augmentation des TR. L'augmentation des temps de réponse n'était associée à une augmentation du coefficient de variation que dans ces situations impliquant des processus de contrôle réactif.

La relation entre la VII des TR et de la précision a donc été étudiée avec le contrôle de la performance moyenne, l'augmentation de l'écart-type était associée à l'augmentation de la VII de la précision excepté pour les essais BX pour lesquels aucun lien n'apparaissait entre les mesures de temps de réponse et de précision. De plus, l'augmentation du coefficient de variation des TR était associée à l'augmentation de la VII de la précision seulement pour les essais AY inducteurs de biais d'attente. Une plus grande VII de la précision est donc associée à une augmentation du coefficient de variation des TR lorsque la situation est complexe et implique des processus de contrôle proactif qui doivent être corrigés.

La VII de la performance mesurée par le coefficient de variation des TR rend compte des différences de comportement selon les processus de contrôle mis en jeu dans la tâche. La difficulté liée au biais d'attente découlant de la mise en œuvre de processus de contrôle proactif, se traduit par une augmentation de la VII de la

précision associée à une augmentation de la VII des TR. La difficulté liée au biais d'inhibition dans la mise en œuvre de contrôle réactif se traduit par une augmentation de la VII des TR associée à une augmentation du TR moyen. Ce fait n'est pas observé dans les situations simples pour lesquelles la VII des TR n'est liée ni au TR moyen ni à la VII de la précision.

Le coefficient de variation est présenté ici comme un indicateur de la VII des TR à prendre en compte car il serait un informateur du comportement cognitif au-delà du TR moyen dans des situations exigeantes en processus de contrôle cognitif.

- Etude de l'instabilité temporelle et paradigme AX-cpt :

Nous avons proposé l'étude de la VII des TR par la mesure de l'instabilité temporelle (forme d'inconsistance qui prend en compte la dépendance temporelle des TR successifs) ainsi qu'une estimation de l'irrégularité de cette mesure. Plus l'instabilité temporelle était importante, plus l'irrégularité de cette même mesure était importante. Nous nous sommes donc intéressés au lien que pouvaient entretenir l'irrégularité de l'instabilité temporelle et la performance. L'irrégularité de l'instabilité temporelle est un indicateur davantage lié à la VII des TR que ne l'est la mesure de l'instabilité temporelle, et indépendant du niveau d'efficacité cognitive général évalué par le MMSE, ce qui n'est pas le cas de l'instabilité temporelle. Ces observations ont attiré notre attention sur cet indicateur de la VII des TR. La construction de deux groupes selon le niveau d'irrégularité de l'instabilité temporelle des participants a montré qu'une irrégularité de l'instabilité temporelle importante était associée à de plus faibles performances à la tâche AX-cpt se traduisant par un ralentissement des réponses, et à une plus grande VII de la précision et des TR. Ces observations soulignent la pertinence de cet indicateur de VII pour différencier les individus selon leur niveau d'efficacité. L'irrégularité de la mesure de l'inconsistance des TR permettrait de distinguer les individus selon leur efficacité dans la résolution d'une tâche de contrôle.

1.3.VII des temps de réponse au cours des essais et niveau d'efficacité

Dans l'étude 2, le niveau d'efficacité dans plusieurs domaines cognitifs (vitesse de traitement, mémoire visuo-spatiale, résistance à l'interférence et mémoire

épisodique / niveau cognitif général) a été évalué à partir des scores de plusieurs tests cognitifs. Le niveau d'efficacité a ensuite été mis en relation avec la performance moyenne et l'inconsistance de la performance à la tâche AX-cpt. Se basant sur les conclusions de l'étude 1, l'inconsistance des TR a été mesurée par le coefficient de variation dans l'étude 2, les mesures de l'instabilité temporelle et de son irrégularité ont également été réalisées. Rappelons que dans cette seconde étude, la tâche de contrôle a été répétée 6 fois de manière rapprochée dans le temps puis 2 fois de manière plus éloignée dans le temps. Les deux dernières évaluations étaient espacées de plusieurs mois et comprenaient la passation du TMT en plus de la tâche AX-cpt.

Alors qu'un niveau élevé de mémoire visuo-spatiale a un effet positif sur la vitesse des réponses à la tâche AX-cpt, le niveau de résistance à l'interférence a un effet sur l'inconsistance de la performance. L'écart d'inconsistance entre les situations simples de la tâche et entre les situations coûteuses en processus de contrôle réactif, est en effet plus important chez les individus associés à un faible niveau de résistance à l'interférence (avec un niveau d'inconsistance supérieur pour les situations de contrôle réactif comparé à celui des situations plus simples). De plus, le niveau de résistance à l'interférence différenciait les individus selon la différence d'inconsistance des TR entre les deux conditions associées à des processus de contrôle distincts (contrôle réactif vs contrôle proactif, toujours avec une inconsistance supérieure en situation de contrôle réactif). La différence d'inconsistance des TR entre les situations de contrôle réactif et les autres situations, dépend donc du niveau de résistance à l'interférence qui n'a pas d'effet sur le TR moyen. Cette relation entre l'inconsistance de la performance et le niveau de résistance à l'interférence des individus pourrait signer une difficulté supérieure du système cognitif à faire face aux contraintes de la situation lorsque la demande est particulièrement coûteuse, ce qui n'est pas mis en évidence par l'examen de la performance moyenne.

- Variabilité intra-individuelle d'états intra-tâche

Une autre forme de VII a été étudiée dans cette deuxième étude : la variation d'états intra-tâche. L'estimation du nombre d'états (1, 2, 3 ou 4) a été réalisée par l'analyse de profils individuels à partir de la performance à la tâche AX-cpt. Le nombre d'états estimé rend compte de la variabilité du comportement intra-individuel durant la réalisation de la tâche. Ces analyses ont montré que certains

individus présentaient un seul état durant la passation d'une même tâche ce qui reflète une consistance du comportement intra-tâche. D'autres individus, au contraire, présentaient plusieurs états intra-tâche ce qui suggère des fluctuations du comportement au sein de la tâche. Nous avons montré que ces fluctuations de comportement ne semblent pas être liées au niveau d'efficacité ni à l'âge des participants. Les résultats que nous avons présentés indiquent que le lien entre la performance à la tâche de contrôle AX-cpt et le nombre d'états intra-tâche est loin d'être univoque car il n'apparaît que sur quelques mesures au cours des 6 sessions. Toutefois nous pouvons noter qu'un lien entre l'augmentation du nombre d'états et l'augmentation de la vitesse de réponse aux essais cibles de la tâche (qui requièrent un minimum de processus de contrôle) est mis en évidence (seulement pour l'évaluation du nombre d'états à la session 2). De plus, une augmentation du nombre d'états associée à l'augmentation de l'inconsistance des TR des essais les plus coûteux en termes de contrôle et des essais neutres (moins coûteux), a été montrée mais ce résultat n'est pas systématiquement reproduit. Même si ces observations demandent à être répliquées dans de prochaines études pour éventuellement être confirmées, elles permettent d'émettre quelques hypothèses. Par exemple, l'augmentation du nombre d'états pourrait être associée à une variabilité adaptative de l'individu lors de la réalisation de la tâche. L'augmentation du nombre d'états pourrait traduire une difficulté du système cognitif dans des situations plus ambiguës. Par ailleurs, l'augmentation du nombre d'états est étroitement liée à l'augmentation des mesures d'instabilité temporelle et de son irrégularité. L'ensemble de ces observations indiquent que l'augmentation du nombre d'états semble bien être liée à l'augmentation de la VII des TR intra-tâche et plus particulièrement lorsque cette mesure prend en compte la dépendance temporelle des essais successifs.

- Stabilité des mesures de VII des TR

L'inconsistance des TR (cvTR) et les mesures de l'instabilité temporelle ne présentaient pas de variations liées à la répétition de la tâche que lorsque les caractéristiques individuelles étaient contrôlées. Cela suggère que la VII des TR ne diminue pas avec l'entraînement. Il n'y a pas non plus d'effet de la répétition de la tâche sur le nombre d'états.

L'étude du lien entre les mesures répétées des indicateurs de VII a montré que l'instabilité temporelle et le nombre d'états pourraient être des caractéristiques plus

stables de l'individu après plusieurs répétitions de la tâche, alors que le coefficient de variation paraît être une caractéristique plus stable durant les premières réalisations de la tâche. Cela suggère que le coefficient de variation évalué dans des tâches pour lesquelles peu d'entraînement est réalisé serait une caractéristique fiable de l'individu alors que l'instabilité temporelle et le nombre d'état seraient des caractéristiques plus fiables après un entraînement à la tâche.

1.4. Apport de l'étude de la VII dans la connaissance du fonctionnement cognitif

Aucun lien n'a été montré entre la dispersion et la VII des TR qu'elle soit mesurée par le cvTR, l'instabilité temporelle, l'irrégularité de l'instabilité temporelle ou le nombre d'états. Selon nos résultats l'hétérogénéité intra-individuelle de la performance entre plusieurs tâches cognitives n'est pas liée à la VII au travers des essais d'une même tâche. Sur ce point nous ne reproduisons pas les résultats d'études précédentes (Hilborn *et al.*, 2009 ; Hultsch *et al.*, 2002) qui ont montré que l'augmentation de la dispersion était associée à une augmentation de l'inconsistance des TR. D'après nos résultats, ces deux indicateurs de VII signeraient donc des aspects distincts du comportement. Nous avons noté qu'une dispersion élevée est associée à la diminution de la vitesse de traitement et à la diminution de la mémoire épisodique et du niveau d'efficacité cognitive générale tandis que l'augmentation de la VII (coefficient de variation des TR) semble traduire une augmentation de la difficulté du système cognitif lorsqu'il est soumis à des situations cognitivement coûteuses. En effet, l'écart d'inconsistance entre les situations de contrôle réactif et les autres situations est supérieur pour les individus présentant un faible niveau de résistance à l'interférence (étude 2). L'inconsistance est supérieure pour les individus associés à un système de maintien du contexte moins préservé (étude 1), et l'augmentation de l'irrégularité de la fluctuation des TR au travers des essais est associée à une plus faible performance à la tâche AX-cpt (étude 1). Ces conclusions indiquent que la VII du comportement est un indicateur à prendre en compte dans l'étude du vieillissement. L'augmentation de la dispersion et celle de l'inconsistance observées dans cette présentation de l'étude de la VII, semblent être associées au niveau de performance des individus au-delà de la performance moyenne. Bien que ces deux indicateurs paraissent témoigner d'une diminution de l'efficacité cognitive,

ils ne sont pas liés entre eux et seraient liés à des aspects distincts du fonctionnement cognitif. L'étude conjointe de ces deux indicateurs semble donc fructueuse pour comprendre la variabilité observée entre les personnes âgées.

1.5. Apport prédictif des indicateurs de la VII du niveau d'efficience à des tâches de contrôle et de flexibilité cognitive

Comme cela a été noté dans l'introduction, la VII peut témoigner d'un changement de la cognition autant positif que négatif et ces relations peuvent exister au sein d'un même individu (Allaire & Marsiske, 2005). Par ailleurs, il a été montré qu'une plus grande inconsistance des TR entre les essais chez la personne âgée pouvait constituer un outil pour prédire un déclin cognitif plusieurs années plus tard (Bielak *et al.*, 2010). Compte tenu de ces résultats, nous nous sommes intéressés à l'apport prédictif des mesures de VII sur la performance évaluée quelques mois plus tard.

Nos conclusions indiquent que l'apport prédictif des mesures de VII sur la performance évaluée plusieurs mois plus tard diffère selon l'indicateur de VII considéré. L'augmentation de la dispersion paraît prédire la performance à la tâche AX-cpt évaluée six mois après l'entrée dans l'étude des participants, et non celle évaluée un an plus tard. La dispersion est associée à la diminution de la vitesse de réponse des essais BX et BY et ne l'est pas à celle des essais AX et AY. Le niveau de performance moyen au bilan cognitif permet de prédire la performance 6 mois et un an plus tard à tous les essais et au TMTB. Un niveau moyen de performance élevé est associé à une plus grande vitesse de réponse. L'apport prédictif de la dispersion serait donc plus sensible aux conditions de la tâche que le niveau moyen de la performance. La dispersion est liée à la diminution des TR à deux types d'essais de la tâche qui ont pour caractéristique de présenter le signal non cible. Le niveau de dispersion n'est pas associé à la capacité de flexibilité mentale. Nous avons vu que la dispersion était associée à un ralentissement des TR à la tâche AX-cpt durant les 6 premières mesures répétées de la tâche et ce quel que soit le type d'essai. L'apport prédictif de la dispersion sur la diminution des essais BX et BY signe une particularité de ces essais dans le paradigme AX-cpt comparés aux essais AX et AY. Cette spécificité a également été mise en évidence par l'analyse de classification hiérarchique (étude 1) et portait sur la précision. Des processus de préparation à

donner la réponse non cible peuvent être engagés dès l'apparition du signal non cible, ce qui n'est pas le cas lorsque le signal cible est présenté. L'augmentation de la dispersion pourrait donc signer une diminution de l'efficacité de ces processus que l'on peut définir comme des processus d'attention préparatoire. Cependant, ces résultats n'étant pas répliqués 6 mois plus tard, d'autres investigations seraient à envisager pour tester cette hypothèse. La diminution du nombre de participants à la dernière évaluation pourrait être la cause de cette différence de résultat. Entre l'évaluation de la dispersion à l'entrée dans l'étude et la dernière évaluation un an plus tard, le nombre de participants est passé de 34 à 29 pour l'avant dernière évaluation et à 25 pour la dernière, une certaine quantité d'information a donc été perdue lors de la dernière évaluation, ce qui peut influencer les résultats.

La relation entre le coefficient de variation des TR (cvTR) intra-tâche et la performance évaluée plusieurs mois plus tard indique que l'augmentation de l'inconsistance mesurée avant la 6^{ème} évaluation prédit l'augmentation de la vitesse plusieurs mois plus tard et un meilleur maintien du contexte pour la tâche AX-cpt (augmentation du TR aux essais AY). Ces résultats suggèrent donc que le cvTR pourrait signer une VII adaptative. La mesure de l'inconsistance à la 6^{ème} session prédit une diminution de la vitesse 3 mois plus tard aux essais BX et au TMTB. Ces deux mesures conjointes indiquent que ce résultat est à prendre en compte. Par ailleurs, nous avons noté que la mesure du cvTR à la 6^{ème} session d'évaluation, n'était pas liée aux mesures du cvTR des 4 premières sessions, ce qui peut expliquer la différence entre ces résultats. La répétition de la tâche semble donc influencer la valeur prédictive du cvTR. L'augmentation du cvTR pourrait prédire une diminution de la performance à des tâches de contrôle et de flexibilité attentionnelle lorsque le cvTR est mesuré à partir d'une tâche relativement apprise et au contraire prédire une augmentation de la vitesse de traitement lorsqu'un minimum d'entraînement à la tâche est réalisé. Le TR moyen permet de prédire la diminution de la performance à tous les essais de la tâche et au TMTB. L'augmentation des TR a le même effet sur les essais AY que sur les autres essais. Elle signerait donc un ralentissement général. Nous pouvons ajouter à ces conclusions que l'apport prédictif de l'inconsistance a également été étudié à partir de conditions plus complexes (essais inducteurs de biais d'inhibition). L'impact de l'augmentation de l'inconsistance sur la vitesse de traitement était positif et ceci, indépendamment du TR moyen. L'augmentation du

nombre d'états ne semble pas être liée à une diminution de la performance sous-jacente et reflèterait davantage des fluctuations liées à un comportement normal qu'un éventuel changement cognitif. Le lien entre les mesures de l'instabilité temporelle et la performance évaluée plusieurs mois plus tard est plus consistant. L'augmentation de l'instabilité temporelle et de son irrégularité apparaît être liée à une diminution des TR à la tâche AX-cpt et au TMTB. Nous avons aussi montré que l'irrégularité de l'instabilité temporelle semble être un prédicteur plus fiable du niveau de performance que l'instabilité temporelle. En accord avec les auteurs (Allaire & Marsiske, 2005), il semblerait que la VII de la performance puisse témoigner à la fois d'un changement positif et d'un changement négatif de la cognition, mais cette relation pourrait dépendre des indicateurs utilisés pour évaluer la VII.

Nous pouvons noter des différences entre les indicateurs de VII des TR estimés qui indiquent des relations de nature différente entre la VII et la performance cognitive évaluée plusieurs mois plus tard. L'instabilité temporelle est une mesure qui rend compte de la dépendance temporelle entre les réponses aux essais successifs, ce qui n'est pas le cas du coefficient de variation. Cette notion pourrait jouer un rôle dans l'apport prédictif de la VII de la performance.

1.6. Conclusion

La VII de la performance chez la personne âgée est liée à l'efficacité cognitive et permet une approche plus fine du comportement que l'étude de la performance moyenne. L'augmentation de la dispersion témoigne d'une diminution de la vitesse de traitement, de la capacité de la mémoire épisodique et de l'efficacité de l'état cognitif plus général. L'augmentation de l'inconsistance serait l'expression d'une difficulté d'un système cognitif associé à des processus de contrôle cognitif moins préservés (maintien de l'information contextuelle et résistance à l'interférence) pour répondre aux contraintes de la situation, ce qui n'est pas montré par l'étude de la performance moyenne. L'augmentation de l'inconsistance pourrait toutefois être le reflet d'une variabilité adaptative sous-jacente à une évolution positive de la cognition. Des fluctuations du comportement intra-individuel paraissent également présenter des caractéristiques d'un fonctionnement normal pouvant traduire des changements du niveau attentionnel au cours d'une tâche. La

notion de dépendance temporelle semble être pertinente dans l'étude de la VII des TR au cours des essais successifs pour expliquer la différence de performance entre les individus et prédire l'évolution de la performance au cours du temps. L'étude de la VII semble donc être un outil fructueux pour expliquer les différences de comportement cognitif entre les personnes âgées.

2. Limites et perspectives de l'étude

L'étude que nous avons réalisée présente plusieurs limites. La première est liée à l'approche longitudinale qui conduit à une perte des participants au cours du temps. En l'espace d'un an, l'effectif du groupe a diminué ce qui entraîne une perte de l'information sur les comportements étudiés. Il aurait été souhaitable de pouvoir étudier un groupe plus important de participants ce qui aurait été relativement coûteux. L'effectif de notre étude est relativement faible ce qui nous a restreints dans le choix des analyses pouvant être réalisées. De ce fait, l'apport prédictif de la VII exploité dans cette étude est donc également limité par la perte des participants au cours du temps. Ce point mériterait donc d'être plus amplement exploité. Nous n'avons pas étudié le lien entre la sortie précoce de l'étude des participants et leur niveau cognitif. Ce point est donc à développer et pourrait éclairer nos conclusions sur l'apport prédictif de la VII, notamment sur les différences observées entre les deux dernières évaluations. Une deuxième limite concerne également l'apport prédictif de la VII. Des délais plus importants entre les évaluations de la VII et l'évaluation de l'efficacité cognitive, pourraient permettre d'identifier des changements d'efficacités cognitives chez les participants. Ces deux limites sont extrêmement liées et rendent compte de la difficulté de mener une étude longitudinale auprès de personnes âgées.

Concernant la tâche AX-cpt, nous avons montré que sa réalisation permettait de distinguer les participants selon le niveau de maintien du contexte et de distinguer deux types de contrôle. Cependant l'évaluation de l'instabilité temporelle réalisée à partir des TR successifs de cette tâche ne permet pas d'étudier l'instabilité temporelle en relation avec la complexité de la tâche. De telles investigations pourraient compléter notre étude de la VII par la réalisation de tâche de temps de réponse simples et plus complexes.

S'agissant de l'analyse de la dispersion, nous avons effectué son estimation à partir des scores aux tests cognitifs, nous avons montré que cette mesure de la dispersion permettait de différencier les individus selon leur performance à la tâche AX-cpt, et que le niveau de dispersion était associé à l'efficacité dans quelques domaines de la cognition. Cependant une autre approche consisterait à estimer la dispersion entre plusieurs domaines cognitifs, il serait donc intéressant de confronter les conclusions liées à l'étude de la dispersion selon ces deux approches. On note toutefois que nos résultats sont cohérents avec ceux des auteurs Christensen *et al.* (1999) qui ont procédé à une mesure de la dispersion à partir de scores composites à différents domaines cognitifs évalués par plusieurs tests. Ceci suggère que les résultats de ces deux approches pourraient être similaires mais cela reste à vérifier.

L'étude de la VII chez la personne âgée offre donc d'autres perspectives qui méritent d'être exploitées. Elle pourrait être utilisée dans le diagnostic des pathologies liées à l'âge, des tests permettant son évaluation pourraient facilement être réalisés pour contribuer au diagnostic précoce du déclin cognitif.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, S., Van der Linden, M., & Colette, F. (2002). Processus attentionnels et vieillissement normal. In J. Couillet, M. Leclerq, C. Moroni, & P. Azouvi (Eds.), *La neuropsychologie de l'attention* (pp. 129-155). Marseille : Solal.
- Allaire, J. C. & Marsiske, M. (2005). Intraindividual Variability May Not Always Indicate Vulnerability in Elders' Cognitive Performance. *Psychology and Aging*, 20(3), 390-401.
- American Psychiatric Association. (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (4th ed.). Washington, DC: Author
- Amenedo, E., Lorenzo-López, L., Pazo-Álvarez P. (2012). Response processing during visual search in normal aging: The need for more time to prevent cross talk between spatial attention and manual response selection. *Biological psychology* 91(2), 201-211.
- Amieva, H., Phillips, L., & Della Sala, S. (2003). Behavioral dysexecutive symptoms in normal aging. *Brain and Cognition*, 53(2), 129-132.
- Arenberg, D. (1982). Changes with age in problem solving. In F.I.M. Craik & S. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes*. New-York: Plenum.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory II* (pp. 89–195). Oxford, England: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485-493.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the Central Executive. *Quarterly Journal Of Experimental Psychology: Section A*, 49(1), 5-28.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.

- Baird, B. M., Le, K., & Lucas, R. E. (2006). On the nature of intraindividual personality variability: Reliability, validity, and associations with well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 90(3), 512–527.
- Balota A. D., Dolan P. O., & Duchek J. M. (2000). Memory Changes in Healthy Older Adults. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Eds.), *The Oxford Handbook of Memory*. Oxford : University Press.
- Baltes, P. B., Staudinger, U. M., & Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology: Theory and application to intellectual functioning. *Annual review of psychology*, 50(1), 471-507.
- Bastin C., Simon J., Kurth S., Collette F., & Salmon É. (2013). Variabilité individuelle dans le fonctionnement de la mémoire épisodique au cours du vieillissement normal et pathologique : le rôle de la réserve cognitive. *Revue de neuropsychologie, neurosciences cognitives et cliniques*, 5(4), 235-42.
- Belleville S., & Bherer L. (2000). L'effet du vieillissement normal sur la mémoire de travail: évaluation de la métaphore frontale. In A. Syssau & D. Brouillet (Eds.), *Le vieillissement cognitif normal* (pp.12-26). Bruxelles: De Boeck
- Bherer, L., Belleville, S., & Hudon, C. (2004). Le déclin des fonctions exécutives au cours du vieillissement normal, dans la maladie d'Alzheimer et dans la démence frontotemporale. *Psychologie et NeuroPsychiatrie du Vieillissement*, 2(3), 181-189.
- Bielak, A. M., Hultsch, D. F., Strauss, E., MacDonald, S. S., & Hunter, M. A. (2010). Intraindividual variability in reaction time predicts cognitive outcomes 5 years later. *Neuropsychology*, 24(6), 731-741.
- Blair, J. R., & Spreen, O. (1989). Predicting premorbid IQ: A revision of the National Adult Reading Test. *Clinical Neuropsychologist*, 3, 129–136.
- Borella, E., Ludwig, C., Fagot, D., & de Ribaupierre, A. (2011). The effect of age and individual differences in attentional control: A sample case using the Hayling test. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 53(1), 75-80.
- Boulanger, M. M., Snyder, P. J., & Cohen, H. H. (2006). Ralentissement cognitif dans le vieillissement: Fonctions exécutives et apprentissage procédural lors d'une

- tâche informatisée de labyrinthe. *Annales Médico-Psychologiques*, 164(6), 463-469.
- Braver, T. S., Barch, D. M., & Cohen, J. D. (1999). *Mechanisms of cognitive control: Active memory, inhibition, and the prefrontal cortex*. Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University.
- Braver, T. S., Barch, D. M., Keys, B. A., Carter, C. S., Cohen, J. D., Kaye, J. A., Janowsky, J., Taylor, S., Yesavage, J., Mumenthaler, M., Jagust, W., & Reed, B. R. (2001). Context processing in older adults: Evidence for a theory relating cognitive control to neurobiology in healthy aging. *Journal Of Experimental Psychology General*, 130(4), 746-763.
- Braver, T. S., & Barch, D. M. (2002). A theory of cognitive control, aging cognition, and neuromodulation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(7), 809-817.
- Braver, T. S., Satpute, A. B., Rush, B. K., Racine, C. A., & Barch, D. M. (2005). Context Processing and Context Maintenance in Healthy Aging and Early Stage Dementia of the Alzheimer's Type. *Psychology And Aging*, 20(1), 33-46.
- Braver, T. S., Cole, M. W., & Yarkoni, T. (2010). Vive les differences! Individual variation in neural mechanisms of executive control. *Current Opinion In Neurobiology*, 20(2), 242-250
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends In Cognitive Sciences*, 16(2), 106-113.
- Brinley, J.F. (1965). Cognitive sets, speed and accuracy of performance in the elderly. In A.T. Welford & J.E. Birren (Eds.), *Behavior, aging and the nervous system* (pp. 114–149). Springfield, IL: Thomas.
- Broadbent, D. E., (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon.
- Bunce, D., MacDonald, S.W.S., & Hultsch, D.F. (2004). Inconsistency in serial choice decision and motor reaction times dissociate in younger and older adults. *Brain and Cognition*, 56, 320-327.
- Burgess, P.W. & Shallice, T. (1996). Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 34, 263–273.

- Burton, C. L., Strauss, E., Hultsch, D. F., Moll, A., & Hunter, M. A. (2006). Intraindividual Variability as a Marker of Neurological Dysfunction: A Comparison of Alzheimer's Disease and Parkinson's Disease. *Journal Of Clinical And Experimental Neuropsychology*, 28(1), 67-83.
- Camus, J.-F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris: Armand Colin
- Camus, J.-F. , & Gély-Nargeot, M.-C. (2000). Existe-t-il un effet du vieillissement attentionnel? in: Brouillet, D., Sysseu, A. (Eds.), *Le vieillissement cognitif normal: vers un modèle explicatif du vieillissement*. (pp. 55-74). Bruxelles : De Boek supérieur.
- Challis, B. H. (1996). Recherches sur la mémoire implicite en 1996: Introduction. *Canadian Journal Of Experimental Psychology/Revue Canadienne De Psychologie Expérimentale*, 50(1), 5-8.
- Charlot, V., Feyereisen, P. (2005). Mémoire épisodique et déficit d'inhibition au cours du vieillissement cognitif : un examen de l'hypothèse frontale. *L'année Psychologique*. 105(2), 323-357.
- Christensen, H., Mackinnon, A. A., Jorm, A. F., Henderson, A. S., Scott, L. R., & Korten, A. E. (1994). Age differences and interindividual variation in cognition in community-dwelling elderly. *Psychology and Aging*, 9(3), 381-390.
- Christensen, H., Mackinnon, A. J., Korten, A. E., Jorm, A. F., Henderson, A. S., & Jacomb, P. P. (1999). Dispersion in cognitive ability as a function of age: A longitudinal study of an elderly community sample. *Aging, Neuropsychology, And Cognition*, 6(3), 214-228.
- Christensen, H. (2001), What cognitive changes can be expected with normal ageing? *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 35(6): 768–775.
- Christensen, H., Dear, K. G., Anstey, K. J., Parslow, R. A., Sachdev, P., & Jorm, A. F. (2005). Within-Occasion intraindividual variability and preclinical diagnostic Status: is intraindividual variability an indicator of mild cognitive impairment? *Neuropsychology*, 19(3), 309-317.
- Cohen J. D., Barch D. M., Carter C. S., & Servan-Schreiber D. (1999). Schizophrenic deficits in the processing of context: converging evidence from three

- theoretically motivated cognitive tasks. *Journal of Abnormal Psychology*, 108(1), 120-133.
- Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, 210(4466), 207-210.
- Collette, F. F., & Salmon, E. E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie Française*, 59(1), 41-58.
- Cooper, R., & Shallice, T. (2000). Contention scheduling and the control of routine activities. *Cognitive Neuropsychology*, 17(4), 297-338.
- Craik, F. I., McDowd, J. M., (1987). Age differences in recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(3), 474-479.
- Dartigues, J., Fabrigoule, C., Letenneur, L., Amieva, H., Thiessard, F., & Orgogozo, J. (1996). *Epidemiology of memory disorders. Thérapie*, 52(5), 503-506.
- de Ribaupierre, A., Chicherio, C., Fagot, D., Dirk, J., Lecerf, T., & Ghisletta, P. (2013). Variabilité inter- et intra-individuelle dans le fonctionnement cognitif au travers du cycle de vie. In M. Carlier & P.-Y. Gilles (Eds.), *Vive(nt) les différences. Psychologie différentielle fondamentale et applications* (pp. 88-93). Aix en Provence, France: Presses Universitaires de Provence.
- de Ribaupierre, A., & Ludwig, C. (2000). Attention divisée et vieillissement cognitif: différences d'âge dans 5 épreuves duelles de mémoire de travail. In A. Syssau & D. Brouillet (Eds.), *Le vieillissement cognitif normal* (pp.28-51). Bruxelles: De Boeck
- Deutsch, J. A. & Deutsch, D. (1963). Attention: some theoretical considerations. *Psychological Review* 70, 80-90.
- Dixon, R. A., Garrett, D. D., Lentz, T. L., MacDonald, S. S., Strauss, E., & Hultsch, D. F. (2007). Neurocognitive markers of cognitive impairment: exploring the roles of speed and inconsistency. *Neuropsychology*, 21(3), 381-399.
- Fiske, D. W., & Rice L. (1955). Intra-individual response variability. *Psychological Bulletin*, 52(3), 217-250.

- Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (1991). Toward an understanding of age-related memory and visual search effects. *Journal Of Experimental Psychology: General*, *120*(2), 131-149.
- Fisk, A. D., Fisher, D. L., & Rogers, W. A. (1992). General slowing alone cannot explain age-related search effects: Reply to Cerella (1991). *Journal Of Experimental Psychology: General*, *121*(1), 73-78.
- Fristoe, N. M., Salthouse, T. A., & Woodard, J. L. (1997). Examination of age-related deficits on the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuropsychology*, *11*(3), 428-436.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-Mental State": A Practical Guide for Grading the Cognitive State of Patients for the Clinician. *Journal of Psychiatric Research*, *12*, 189-198.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., McHugh, P. R., & Fanjiang, G. (2001). *Mini-Mental Status Examination*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Gamaldo, A. A., An, Y., Allaire, J. C., Kitner-Triolo, M. H., & Zonderman, A. B. (2012). Variability in performance: identifying early signs of future cognitive impairment. *Neuropsychology*, *26*(4), 534-540.
- Gély-Nargeot, M.C., Mure, C., Guérin-Langlois, C., Martin, K., & Descours, I. (2000). Effet du vieillissement cognitif sur les performances mnésiques. *La Presse Médicale*, *29*(15), 849-857.
- Gély-Nargeot, M.C. & Raffard, S. (2011). Le vieillissement cognitif. In P. Charazac (Ed), *L'aide-mémoire de psychogériatrie en 24 notions* (pp. 65-91). Paris: Dunod.
- Gerstorf, D., Siedlecki, K. L., Tucker-Drob, E. M., & Salthouse, T. A. (2009). Within-person variability in state anxiety across adulthood: Magnitude and associations with between-person characteristics. *International Journal of Behavioral Development*, *33*(1), 55-64.
- Giffard, B., Desgranges, B., & Eustache, F., (2001). Le vieillissement de la mémoire: vieillissement normal et pathologique. *Gérontologie et société*, *97*(2), 33-47.
- Godefroy, O., Jeannerod, M., Allainc, P., & Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et contrôle cognitive. *Revue neurologique*, *164*, 119-127.

- Godefroy, O. (2010). Age-related slowing: perceptuomotor, decision, or attention decline? *Experimental Aging Research*, 36(2), 169-189.
- Gonneaud, J. (2011). Distinct and shared cognitive functions mediate event- and time-based prospective memory impairment in normal ageing. *Memory*, 19(4), 360-377.
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of experimental psychology*, 38(4), 404.
- Greenwood PM, Parasuraman R. (1994). Attentional disengagement deficit in nondemented elderly over 75 years of age. *Aging and Cognition*, 1(3)188-202
- Guillery-Girard, B., Quinette, P., Piolino, P., Desgranges, B., & Eustache, F. (2008). Mémoire et fonctions exécutives. In F. Eustache, B. Lechevalier & Viader, F. (Eds), *Traité de neuropsychologie clinique* (pp. 309-365). Bruxelles: De Boeck.
- Hale, S., Lima, S. D., & Myerson, J. (1991). General cognitive slowing in the nonlexical domain: An experimental validation. *Psychology and Aging*. 6(4), 512-521.
- Hale, S., Myerson, J., Smith, G.A., & Poon, L. W. (1988). Age, variability, and speed: between-subjects diversity. *Psychology and Aging*, 3(4), 407-410.
- Hartley A. A. (1992). Attention. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 3-49). New York, NY: Psychology Press.
- Hilborn, J., Strauss, E., Hultsch, D. F., & Hunter, M. A. (2009). Intraindividual variability across cognitive domains: Investigation of dispersion levels and performance profiles in older adults. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 31(4), 412-424
- Holtzer, R., Verghese, J., Wang, C., Hall, C., & Lipton, R. (2008). Within-person across-neuropsychological test variability and incident dementia. *JAMA: The Journal of The American Medical Association*, 300(7), 823-830.
- Hultsch, D. F., MacDonald, S. S., Hunter, M. A., Levy-Bencheton, J., & Strauss, E. (2000). Intraindividual variability in cognitive performance in older adults: Comparison of adults with mild dementia, adults with arthritis, and healthy adults. *Neuropsychology*, 14(4), 588-598.

- Hultsch, D. F., MacDonald, S. S., & Dixon, R. A. (2002). Variability in reaction time performance of younger and older adults. *The Journals Of Gerontology: Series B: Psychological Sciences And Social Sciences*, 57(2), 101-115.
- Hultsch, D. F., & MacDonald, S. S. (2004) Intraindividual variability in performance as a theoretical window onto cognitive aging. In R. A. Dixon, L. Backman, & L. G. Nilsson (Eds.), *New frontiers in cognitive aging* (pp.65-88). Oxford: University Press.
- Hultsch, D. F., Stauss, E., Hunter, M. A., & MacDonald, S. W. S. (2008). Intraindividual variability, cognition, and aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp.491–556). New York, NY: Psychology Press.
- Huxhold, O., Li, S.-C., Schmiedek, F., Smith, J., & Lindenberger, U. (2011). Age differences in intraindividual processing fluctuations of postural control across trials and across days. *Psychology and Aging*, 26, 731-737.
- Jahng, S., Wood, P. K., & Trull, T. J. (2008). Analysis of affective instability in ecological momentary assessment: Indices using successive difference and group comparison via multilevel modeling. *Psychological Methods*, 13(4), 354–375.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Dover Publications.
- Jeanin, A. & Pennequin, V. (2006). Explication du déclin du raisonnement inductif par le déficit exécutif lié à l'âge. *L'Année Psychologique*, 106, 49-69.
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of psychology*, 89, 2-82.
- Juhel, J. (2013). La recherche d'invariants différentiels dans les variations développementales : de la population à l'individu et réciproquement ! In S. Le Sourn-Bissaoui, G. Le Maner-Idrissi, V. Dardier, E. Bonjour & A. Lacroix (Eds.), *Développements et variabilités* (pp. 13-41). Rennes: P.U.R.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. New York: Prentice-Hall.
- Kalpouzos, G., Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). Réserve cognitive et fonctionnement cérébral au cours du vieillissement normal et de la maladie d'Alzheimer. *Psychologie & Neuropsychiatrie Du Vieillessement*, 6(2), 97-105

- Kalpouzos, G., Eustache, F., & Desgranges, B. (2010). Substrats cérébraux du déclin de la mémoire épisodique: contrastes entre vieillissement normal et maladie d'Alzheimer. *Revue de Neuropsychologie*, 2(2), 114-123.
- Kaufman, A. S. (1979). *Intelligent Testing. W/SC-R*. New York: Wiley-Interscience.
- Kliegel, M., & Sliwinski, M. (2004). MMSE cross-domain variability predicts cognitive decline in centenarians. *Gerontology*, 50(1), 39-43.
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du Vieillissement: Une perspective cognitive*. Bruxelles : De Boeck.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., & Sikström, S. (2001). Aging cognition: From neuromodulation to representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(11), 479–486.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P.B (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychological Science (Wiley-Blackwell)*, 15(3), 155-163.
- Lindenberger, U., & Baltes, P.B. (1997). Intellectual functioning in old and very old age: Cross-sectional results from the Berlin aging study. *Psychology and Aging*, 12(3), 410-432.
- Lindenberger, U., & von Oertzen, T. (2006). Variability in Cognitive Aging: From Taxonomy to Theory. In E. Bialystok, F. M. Craik (Eds.), *Lifespan cognition: Mechanisms of change* (pp. 297-314). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Lövdén, M., Li, S.-C., Shing, Y. L., & Lindenberger, U. (2007). Within-person trial-to-trial variability precedes and predicts cognitive decline in old and very old age: Longitudinal data from the Berlin aging Study. *Neuropsychologia*, 45(12), 2827-2838.
- Ludwig, C., & Chicherio, C. (2007). Pertes et gains dans le développement adulte. *Gérontologie et Société*, 123, 109-134.
- Ludwig, C., Fagot., D., Chicherio, C. & de Ribaupierre, A. (2011). Variabilité intra-individuelle dans les performances cognitives: apports dans l'étude du

- vieillesse. In D. Brouillet (Ed.), *Le vieillissement cognitif normal* (pp.171-186). Bruxelles: De Boeck.
- Luo, L., & Craik, F. M. (2008). Aging and memory: A cognitive approach. *Canadian Journal of Psychiatry*, 53(6), 346-353.
- MacDonald, S. S., Hultsch, D. F., & Dixon, R. A. (2003). Performance variability is related to change in cognition: Evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Psychology and Aging*, 18(3), 510-523.
- MacDonald, S. S., Hultsch, D. F., & Dixon, R. A. (2008). Predicting impending death: Inconsistency in speed is a selective and early marker. *Psychology And Aging*, 23(3), 595-607.
- MacDonald, S. W. S., Li, S.-C., & Bäckman, L. (2009). Neural underpinnings of within-person variability in cognitive functioning. *Psychology and Aging*, 24(4), 792–808.
- Maylor, E. A., & Watson, D. G. (2005). Aging and the ability to ignore irrelevant information in visual search and enumeration tasks. In Duncan, J., Phillips, L. & McLeod, P (Eds.), *Measuring the mind: speed, control, and age* (pp. 59-87). Oxford: Oxford University Press.
- McDowd, J. M., & Craik, F. I. M. (1988). Effects of aging and task difficulty on divided attention performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 267–280.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24,167-202.
- Mouloua, M., & Parasuraman, R. (1995). Aging and cognitive vigilance: Effects of spatial uncertainty and event rate. *Experimental Aging Research*, 21(1), 17-32.
- Morse, C. K. (1993). Does variability increase with age? An archival study of cognitive measures. *Psychology and Aging*, 8(2), 156-164.
- Myerson, J., Hale, S., Hirschman, R., Hansen. C, & Christiansen, B. (1989). Global increase in response latencies by early middle age: Complexity effects in individual performances. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 52(3), 353-362.

- Nesselroade, J. R. (1991). The warp and the woof of the developmental fabric. In R. M. Downs, L. S. Liben, & D. S. Palermo (Eds.), *Visions of aesthetics, the environment & development: The legacy of Joachim F. Wohlwill* (pp. 213–240). Nillsdale, NJ: Earlbaum.
- Nesselroade, J. R., & Salthouse, T. A. (2004). Methodological and theoretical implications of intraindividual variability in perceptual-motor performance. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences And Social Sciences*, 59(2), 49-55.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro, (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (vol.4, pp. 1-18). New York: Plenum.
- Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Age-related changes in memory. In S. M. Hofer & D. F. Alwin (Eds.), *Handbook of cognitive aging: interdisciplinary perspectives* (pp. 151-167). Los Angeles: Sage Publications.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220-244.
- Papenberg, G., Bäckman, L., Chicherio, C., Nagel, I. E., Heekeren, H. R., Lindenberger, U., & Li, S. (2011). Higher intraindividual variability is associated with more forgetting and dedifferentiated memory functions in old age. *Neuropsychologia*, 49(7), 1879-1888.
- Paxton, J. L., Barch, D. M., Storandt, M., & Braver, T. S. (2006). Effects of environmental support and strategy training on older adults' use of context. *Psychology and Aging*, 21(3), 499-509.
- Plude, D., & Doussard-Roosevelt, J. (1989). Aging, selective attention, and feature integration. *Psychology and Aging*, 4(1), 98-105.
- Posner, M. I., & Petersen S.E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neurosciences*, 13, 25–42.
- Petersen, R.C., Smith, GE, Waring, SC, Ivnik, RJ, Tangalos, EG, Kokmen, E. (1999). Mild cognitive impairment: clinical characterization and outcome. *Archives of Neurology*, 56(3), 303-308.

- Petersen, R.D., Bennet, D. (2005). Mild Cognitive Impairment: Is it Alzheimer's disease or Not? *Journal of Alzheimer's Disease*, 7(3), 241–245.
- Piolino, P. (2003). Le vieillissement normal de la mémoire autobiographique. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du Vieillissement*, 1(1), 25-35.
- Rabbitt, P. (1965) An age decrement in the ability to ignore irrelevant information. *Journal of Gerontology*, 20(2), 233-238.
- Ram, N., Rabbitt, P., Stollery, B., & Nesselroade, J. R. (2005). Cognitive performance inconsistency: Intraindividual change and variability. *Psychology And Aging*, 20(4), 623-633.
- Raz, N., Lindenberger, U., Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Head, D., Williamson, A., Dahle, C., Gerstorf, D & Acker, J. D. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: general trends, individual differences and modifiers. *Cerebral cortex*, 15(11), 1676-1689.
- Reitan, R. M. (1955). The relation of the Trail Making Test to organic brain damage. *Journal of Consulting Psychology*, 19, 393–394.
- Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome, E. D., & Beck, L. H. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of Consulting Psychology*, 20(5), 343-350.
- Salthouse, T. A. (2012). Psychometric properties of within-person across-session variability in accuracy of cognitive performance. *Assessment*, 19(4), 494-501.
- Siérouff, E. (1992). Introduction à l'attention sélective: définitions et propriétés. *Revue de Neuropsychologie*, 2, 1-28.
- Siérouff, E. (1994). Mécanismes attentionnels. In X. Séron & M. Jeannerod (Eds.) *Traité de Neuropsychologie*, (pp127-151). Liège : Mardaga
- Siérouff, E. (2001). Attention préparatoire: Un nouveau paradigme. *Revue de Neuropsychologie*, 11(2), 283-298.
- Siérouff, E. & Piquard A. (2004). Attention et vieillissement. *Psychologie & NeuroPsychiatrie Vieillesse*, 2(4), 257-69

- Siérouff, E., Piquard, A., Auclair, L., Lacomblez, L., Derouesné, C., & Laberge, D. (2004). Deficit of preparatory attention in frontotemporal dementia. *Brain and Cognition*, 55(3), 444-451.
- Siérouff E., (2008). L'attention. In F. Eustache, B. Lechevalier & F. Viader (Eds.), *Traité de neuropsychologie Clinique* (pp. 263-293). Bruxelles : De Boeck.
- Salthouse, T. A. (1994). The Aging of Working Memory. *Neuropsychology*, 8(4), 535-543.
- Salthouse, T. A., & Fristoe, N. M. (1995). Process analysis of adult age effects on a computer administered Trail Making Test. *Neuropsychology*, 9(4), 518-528.
- Salthouse, T.A., Prill, K.A. (1987). Inferences about age impairments in inferential reasoning. *Psychology and Aging*, 2, 43-51.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403–428.
- Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 54, 35–54.
- Shammi, P., Bosman, E., & Stuss, D. T. (1998). Aging and variability in performance. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 5, 1–13.
- Schacter, D.L. (1992). Priming and multiple memory systems: Perceptual mechanisms of implicit memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 244-256.
- Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2009). On the Relation of Mean Reaction Time and Intraindividual Reaction Time Variability. *Psychology and Aging*, 24(4), 841-857.
- Servan-Schreiber D, Cohen J. D., & Steingard S. (1996). Schizophrenic deficits in the processing of context: A test of a theoretical model. *Archives of General Psychiatry*. 53(12), 1105-1112.
- Scullin, M. K., Bugg, J. M., & McDaniel, M. A. (2012). Whoops, I did it again: Commission errors in prospective memory. *Psychology and Aging*, 27(1), 46-53.
- Shih, S. (2009). Using the attention cascade model to probe cognitive aging. *Psychology and Aging*, 24(3), 550-562.

- Ska, B., & Joannette, Y. (2006). Vieillesse normale et cognition. *Medecine Sciences*, 22, 284-287.
- 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.
- Strauss, E., Bielak, A. A. M., Bunce, D., Hunter, M. A., & Hultsch, D. F. (2007). Within-person variability in response speed as an indicator of cognitive impairment in older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14(6), 608–630.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, 18(6), 643.
- Tipper, S.P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory effects of ignored primes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37, 571-590.
- Treisman, A., (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, 20, 12-16.
- Tulving, E., (1972). Episodic and semantic memory In E. Tulving & M. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381–403). New York: Academic Press.
- Tulving, E., (2002). Episodic memory: from mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53, 1-25.
- Van der Linden, M., Meulemans, T., Marczewski, P., & Collette, F. (2000). The relationships between episodic memory, working memory, and executive functions: The contribution of the prefrontal cortex. *Psychologica Belgica*, 40(4), 275-297.
- Villeneuve, S., & Belleville, S. (2010). Réserve cognitive et changements neuronaux associés au vieillissement. *Annales de Gériatrie*, 8(2), 133-140
- von Neumann, J., Kent, R.H., Bellinson, H.R., & Hart, B.I. (1941). The mean square successive difference. *The Annals of Mathematical Statistics*, 2, 153-162.
- Wagenmakers, E.-J., & Brown, S. (2007). On the linear relation between the mean and the standard deviation of a response time distribution. *Psychological Review*, 114, 830–841.

- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological bulletin*, 120(2), 272.
- West, R., Murphy, K. J., Armilio, M. L., Craik, F. M., & Stuss, D. T. (2002). Lapses of intention and performance variability reveal age-related increases in fluctuations of executive control. *Brain and Cognition*, 49(3), 402-419.
- Williams, B., Hultsch, D., Strauss, E., Hunter, M., & Tannock, R., (2005). Inconsistency in reaction time across the life span. *Neuropsychology*, 19(1), 88-96.

ANNEXES

1. ANNEXE 1: Tables des illustrations

1.1. Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1: Modèle revu de la MDT de Baddeley (2000), (extrait et traduit de Baddeley, 2000, p. 421). Fond blanc : systèmes fluides et fond grisé : systèmes cristallisés..... | 16 |
| Figure 2: Théorie de la vitesse de traitement: Graphe de Brinley. TR moyen des personnes âgées en fonction du TR moyen des jeunes adultes pour des tâches arithmétiques (Extrait de Salthouse 1996, données de Salthouse & Coon, 1994, p. 409). | 24 |
| Figure 3 : Modèle d'analyse en pistes causales de la relation entre l'âge, la vitesse de traitement, la MDT, l'utilisation du feedback, et la performance au WCST (Fristoe <i>et al.</i> , 1997, p. 434)..... | 26 |
| Figure 4 : Diagramme du modèle canonique : les principes clés computationnels du traitement du contexte sont présentés : 1) activation de la mémoire (<i>active memory</i>) à travers les connexions récurrentes, 2) biais descendant (<i>top-down bias</i>) à travers les connexions de rétroaction (feedback), 3) accès régulé des données contextuelles à travers les connexions des portes modulatrices (<i>modulatory gating connections</i>) (Braver, 2002 ; p. 811). | 33 |
| Figure 5: Schéma du paradigme AX-cpt. Biais d'attente et Biais d'inhibition. Des lettres isolées sont montrées visuellement sur un écran d'ordinateur, la cible est définie par l'apparition d'une sonde X se situant immédiatement après le signal A. Il y a trois types d'essai non cible : BX, AY, BY (avec B : signal non-A, et Y : sonde non-X). | 36 |
| Figure 6 : Effet du maintien du contexte (intact vs altéré) sur les performances à la tâche AX-cpt: données simulées, (extrait de Braver <i>et al.</i> , 2001, p. 751). | 37 |

| | |
|---|----|
| Figure 7: Les trois conditions de la tâche AX-cpt : condition de référence (<i>baseline condition</i>), condition « interférence » (<i>interference condition</i>) et condition « dégradation » (<i>degraded condition</i>), (extrait de Braver <i>et al.</i> , 2001, p. 753)..... | 40 |
| Figure 8: Taux d'erreurs et TR chez les adultes jeunes et âgés dans la condition de référence A (taux d'erreur) : il y a plus d'erreurs aux essais BX mais moins aux essais AY chez les adultes âgés. B (TR ; seulement pour les réponses correctes) les adultes âgés montrent un ralentissement important sur les essais BX comparé aux essais BY mais comparable à la vitesse de réponses des essais AY (extrait de Braver <i>et al.</i> , 2001, p. 753)..... | 41 |
| Figure 9: Taux d'erreurs et TR chez les adultes jeunes et âgés dans la condition « interférence » : A (taux d'erreurs): les adultes âgés font significativement plus d'erreurs que les jeunes adultes sur les essais AX et BX mais significativement moins d'erreurs sur les essais AY. B (TR ; bonnes réponses seulement) : les adultes âgés montrent un ralentissement important pour répondre aux essais BX en comparaison avec les essais BY mais un ralentissement moins important comparé aux essais AY (extrait de Braver <i>et al.</i> , 2001, p. 755)..... | 42 |
| Figure 10 : Taux d'erreurs et TR chez les adultes jeunes et âgés dans la condition « dégradation ». A (taux d'erreurs) : il n'y a pas de différence liée à l'âge sur les essais AY et BX. B (TR) : résultats similaires à ceux de la condition de référence concernant les TR (extrait de Braver <i>et al.</i> , 2001, p. 755). | 43 |
| Figure 11 : Schéma de la tâche AX-cpt réalisée par les participants. | 80 |
| Figure 12 : Précision moyenne du groupe en fonction du type d'essai, n=35. | 85 |
| Figure 13 : VII moyenne de la précision en fonction du type d'essai, n=35. | 85 |
| Figure 14 : TR moyen en fonction du type d'essai, n=35. | 86 |
| Figure 15: VII des TR (cvTR) en fonction du type d'essai, n=35..... | 87 |
| Figure 16 : TR et variabilité intra-individuelle des TR aux essais BX et AY : a) TR ; b) etTR et c) cvTR aux essais BX (traits pleins) et AY (pointillés) pour les trois groupes de participants : « très préservés », « préservés » et « moins préservés »..... | 89 |
| Figure 17: Représentation des relations linéaires entre les indicateurs de performance (précision : PR, variance de la précision : VarPR, TR, écart-type des TR : etTR et | |

| | |
|---|-----|
| coefficient de variation des TR : cvTR), pour les essais AX, BX, AY BY. Seules sont représentées les relations significatives (*p<.05 ; **p<.01)..... | 91 |
| Figure 18: Représentation des corrélations entre les indicateurs de performance (précision : PR, variance de la précision : VarPR, TR, écart-type des TR : etTR et coefficient de variation des TR : cvTR) après contrôle de la précision moyenne, pour les essais AX, BX, AY BY. Seules sont représentées les relations significatives (*p<.05 ; **p<.01)..... | 92 |
| Figure 19 : Représentation des corrélations entre les indicateurs de performance (précision : PR, variance de la précision : VarPR, TR, écart-type des TR : etTR et coefficient de variation des TR : cvTR) après contrôle du TR moyen, pour les essais AX, BX, AY BY. Seules sont représentées les relations significatives (*p<.05 ; **p<.01)..... | 93 |
| Figure 20 : Représentation des corrélations entre les indicateurs de performance avec le contrôle de la précision moyenne (PR) et du TR moyen. Seules sont représentées les relations significatives (*p<.05 ; **p<.01)..... | 94 |
| Figure 21 : Dendrogramme réalisé à partir de 16 mesures de performance (PR et TR selon le type d'essai) permettant d'obtenir 3 groupes d'indicateurs homogènes (cluster 1 : TR, VII des TR aux essais AX, BY et AY ; cluster 2 : TR, VII des TR, PR à BX et PR à BY ; et cluster 3 : PR à AX et AY)..... | 98 |
| Figure 22 : Mesure de l'instabilité temporelle avec le MSSD : tendance centrale (en rouge) et intervalle de confiance à 95% (biais corrigé et accéléré), n=35..... | 101 |
| Figure 23 : Visualisation de l'étendue de l'intervalle de confiance calculé par bootstrap du MSSD, par Bca 0,95, pour chaque individu trié par ordre croissant, n=35. IT.REG : l'instabilité temporelle des TR est régulière, IT.IRR : l'instabilité temporelle des TR est irrégulière..... | 105 |
| Figure 24: VII de la précision (varPR) en fonction du groupe et du type d'essai. | 107 |
| Figure 25 : TR et VII des TR (cvTR) en fonction du groupe IT.REG (trait plein) et IT.IRR (pointillés) et du type d'essai (AX, BX, AY et BY). | 108 |
| Figure 26 : Distribution de la dispersion (ETi) du groupe de participants, n=34..... | 132 |
| Figure 27 : Dendrogramme de l'analyse de classification hiérarchique : les 15 variables considérées peuvent être regroupées en 4 groupes de variables homogènes. | 135 |

| | |
|--|-----|
| Figure 28 : Relations entre la dispersion de la performance (ETi) et les scores dans les 4 domaines (résistance à l'interférence, vitesse, mémoire épisodique et efficacité cognitive générale, mémoire visuo-spatiale)..... | 137 |
| Figure 29 : TR aux essais AX, BX, AY et BY lors des 6 premières sessions..... | 139 |
| Figure 30 : VII des TR intra-tâche (cvTR) aux différents essais (AX, BX, AY et BY) lors des 6 premières sessions..... | 140 |
| Figure 31 : TR selon le niveau de mémoire visuo-spatiale (faible et élevé). | 143 |
| Figure 32 : TR (TR) selon le niveau de dispersion (faible et élevé). | 143 |
| Figure 33 : cvTR en fonction du type d'essai (AX, BX, AY et BY) et du niveau de résistance à l'interférence (niveau faible et niveau élevé)..... | 144 |
| Figure 34 : cvTR en fonction du type d'essai (AX, BX, AY et BY) et du niveau de vitesse (niveau faible et niveau élevé)..... | 145 |
| Figure 35 : Evolution de l'instabilité temporelle (MSSD) au cours des 6 premières sessions d'évaluation. | 146 |
| Figure 36 : Evolution de l'étendue de l'intervalle de confiance de l'évaluation du MSSD au cours des 6 premières sessions d'évaluation. | 146 |
| Figure 37 : Nombre d'états par session pour chaque participant (n=34) de la session 1 à 6 (1 ligne est associée à un participant) et visualisation du nombre d'états au cours des 6 sessions. | 151 |
| Figure 38 : Nombre d'états selon le niveau de mémoire épisodique/efficacité générale (faible ou élevé) à la session 3..... | 152 |

1.2. Table des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 : Résumé des résultats relatifs aux effets des variables indépendantes signal et essai sur les variables dépendantes dans la résolution de la tâche AX-cpt: PR= précision, TR (*= $p < .05$; ns= $p \geq .05$)..... | 87 |
| Tableau 2 : Corrélations entre les variables précision (PR), variance de la précision (varPR), temps de réponse (TR), écart-type des temps de réponse (etTR), et coefficient de variation des temps de réponse (cvTR), pour les essais AX, BX, AY et BY..... | 90 |
| Tableau 3: Description de la distribution du MSSD pour le groupe de participants.... | 100 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 4 : Corrélations entre la performance moyenne individuelle (TRi, etTRi, cvTRi, PRI, varPRI), les mesures de l'instabilité temporelle (valeur du MSSD et de l'étendue de son intervalle de confiance : IC.MSSD), l'âge et le score au MMSE. | 102 |
| Tableau 5 : Distribution des données en fonction du groupe basé sur la valeur de l'étendue de l'intervalle de confiance de la valeur du MSSD (IC_MSSD), n=35. | 105 |
| Tableau 6 : Scores de l'échantillon aux tests d'empan verbal (chiffre endroit et envers) et d'empan visuo-spatial (Corsi endroit et envers). | 128 |
| Tableau 7 : Scores de l'échantillon au test des 15 mots de REY : Apprentissage sur 75 points, rappel 1 après lecture de liste interférente sur 15 points, rappel 2 différé après tâche interférente (20 minutes) sur 15 points et reconnaissance à partir de la lecture d'un texte sur 15 points. | 128 |
| Tableau 8 : Scores de l'échantillon aux mesures des capacités de flexibilité attentionnelle: Trail Making test A (TMTA) et B (TMTB), TR : TR en secondes, erreur : nombre d'erreurs d'ordre, persévération : nombre d'erreurs de persévération. | 129 |
| Tableau 9: Scores de l'échantillon au test de fluence verbale alternée : alterner prénoms et fruits en deux minutes, score : nombre de réponses correctes, répétition : nombre d'erreurs de répétition, intrusion : nombre d'erreurs d'intrusion, persévération : nombre d'erreurs de persévération (cas de non-alternance). | 130 |
| Tableau 10: Performance au STROOP, TR en seconde et nombre d'erreurs pour répondre à 100 items aux conditions dénomination, lecture et interférence. | 130 |
| Tableau 11 : Scores à la batterie rapide d'évaluation frontale (Bref) sur 18 points. | 130 |
| Tableau 12: Corrélations entre la dispersion (ETi), la performance moyenne individuelle (Mi) et les performances individuelles aux épreuves cognitives. Significativité: *=p<.05; **=p<.01, ns= non significatif. Epreuves cognitives : Mini-Mental Examination state (MMSE), Trail Making Test (TMT), 15 mots de Rey, Test du Stroop, Fluence alternée, Empan de chiffres, empan visuo-spatial (blocs de Corsi) et la batterie rapide d'évaluation frontale (Bref). | 133 |
| Tableau 13 : Distribution des effectifs selon le niveau d'efficience (fort ou faible) pour chaque domaine cognitif extrait du bilan à l'entrée dans l'étude (résistance à l'interférence, vitesse, mémoire visuo-spatiale et mémoire épisodique et efficience | |

| | |
|---|-----|
| générale), et moyenne (m) des scores pour chaque groupe de niveau, effectif total = 34. | 142 |
| Tableau 14 : Tableau des effectifs associés à un effet de l'essai sur TR et sur PR, effectif présentant 1, 2, 3 et 4 états selon la session, de la session 1 à la session 6. | 148 |
| Tableau 15 : Corrélations Tau de Kendall entre le nombre d'états au sein des sessions, de la session 1 à 6 | 151 |
| Tableau 16 : Corrélations de rang (Tau de Kendall) entre le nombre d'états identifié par les analyses de profils individuels au sein de chaque session (1 à 6), le TR et le cvTR, selon l'essai et la session. | 153 |
| Tableau 17 : Corrélations de rang (Tau de Kendall) entre le nombre d'états identifié au sein d'une session et les mesures de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) à chaque session de 1 à 6..... | 154 |
| Tableau 18 : Résultats des analyses de régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur les indicateurs de VII de la performance, dispersion à t0, cvTR, instabilité temporelle (MSSD) irrégularité de l'instabilité temporelle (IRR.MSSD) et nombre d'états à chacune des 6 premières sessions, (pour les prédicteurs cvTR, MSSD et IRR.MSSD le TR est contrôlé). | 156 |
| Tableau 19 : Corrélations entre le cvTR des 6 premières sessions d'évaluation. | 158 |
| Tableau 20 : Analyses de régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR aux essais BX avec le contrôle de TR aux essais BX. | 161 |
| Tableau 21 : Corrélations entre les mesures de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) entre les 6 premières sessions d'évaluation..... | 162 |
| Tableau 22 : Analyses de régression du TR à la tâche AX-cpt (essai AX, BX, AY et BY) et du TR au TMTB à t7 et t8 sur la dispersion et le niveau moyen de performance aux tests cognitifs à t0, * p<.05. | 223 |
| Tableau 23 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 1, * p<.05..... | 224 |
| Tableau 24 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 2, * p<.05..... | 224 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 25 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 3, * p<.05. | 225 |
| Tableau 26 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 4, * p<.05. | 225 |
| Tableau 27 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 5, * p<.05. | 226 |
| Tableau 28 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 6, * p<.05. | 226 |
| Tableau 29 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 1, * p<.05. | 227 |
| Tableau 30 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 2, * p<.05. | 228 |
| Tableau 31 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 3, * p<.05. | 229 |
| Tableau 32 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 4, * p<.05. | 230 |
| Tableau 33 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 5, * p<.05. | 231 |
| Tableau 34 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 6, * p<.05. | 232 |
| Tableau 35 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 1, * p<.05. | 233 |
| Tableau 36 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 2, * p<.05. | 233 |
| Tableau 37 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 3, * p<.05. | 234 |
| Tableau 38 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 4, * p<.05. | 234 |
| Tableau 39 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 5, * p<.05. | 235 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 40 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 6, * p<.05. | 235 |
| Tableau 41 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 1, * p<.05. | 236 |
| Tableau 42 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 2, * p<.05. | 237 |
| Tableau 43 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 3, * p<.05. | 237 |
| Tableau 44 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 4, * p<.05. | 237 |
| Tableau 45 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 5, * p<.05. | 238 |
| Tableau 46 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 6, * p<.05. | 238 |

2. ANNEXE 2: Scripts réalisés sous R

R version 3.0.3 (2014-03-06)

Copyright (C) 2014 The R Foundation for Statistical Computing

2.1. Calcul du MSSD et de son intervalle de confiance

```
# chargement de la librairie
library(bootstrap)
#sujet1
data1 <- subset(data, id == 1)
x<-data1$tr
#Bootstrap du carré moyen des différences successives
#avec la fonction bootstrap
# fonction pour obtenir mssd
mssdf <- function(x,i) {
  n <- length(x)
  ssd <- 0
  for (i in 1:(n-1))
  {
    dif2 <- (x[i]-x[i+1])^2
    ssd = ssd + dif2/(n-1)
  }
  ssd
}
mssd <- mssdf(x);
mssd

mssd.boot <- bootstrap(x,5000,mssdf,func=mean)
print(mssd.boot)
hist(mssd.boot$thetastar)
mean(mssd.boot$thetastar)
sd(mssd.boot$thetastar)
# chargement de la librairie
```

```

library(boot)
#Avec la fonction boot
# fonction pour obtenir mssd
mssd <- function(x, indices)
{
n <- length(x)
d <- x[indices]
ssd <- 0
for (i in 1:(n-1))
{
dif2 <- (d[i]-d[i+1])^2
ssd = ssd + dif2/(n-1)
}
ssd
}
mssd.out <-boot(x, mssd, R=5000)
boot.ci(mssd.out, conf = c(0.90,0.95),type="all")
plot(mssd.out)

```

2.2.Représentation graphique des intervalles de confiance du MSSD

```
# Graphique
library(graphics)
id <- as.factor(data$id)
plot(data=data,id~bca95inf,type="p",col="blue",pch=20,cex=0.75,
      xlab="MSSD 1",xlim=c(0,7000000),cex.lab = 1.5,
      ylab="Sujets", xaxt="n", yaxt="n")
axis(1,cex.axis= 1)
axis(2,at=seq(1,35,length=35),cex.axis= 0.5)
par(new=TRUE)
plot(data=data,id~bca95sup,type="p",col="blue",pch=20,cex=0.75,
      xlab="MSSD 1",xlim=c(0,7000000),cex.lab = 1.5,
      ylab="Sujets", xaxt="n", yaxt="n")
axis(1,cex.axis= 1)
axis(2,at=seq(1,35,length=35),cex.axis= 0.5)
par(new=TRUE)
plot(data=data,id~mssd1,type="p",col="red",pch=3,
      xlab="MSSD 1",xlim=c(0,7000000),cex.lab = 1.5,
      ylab="Sujets", xaxt="n", yaxt="n")
axis(1,cex.axis= 1)
axis(2,at=seq(1,35,length=35),cex.axis= 0.5)
segments(data$bca95inf, data$id, data$bca95sup, data$id, col = 'blue')
```

2.3.Script sous R : Analyse de profils individuels

```
rm(list=ls(all=TRUE))

# chargement de la libraririe depmixS4

library(depmixS4)1

set.seed(1)

# extraction des données du sujet i

#si <- subset(data,sujet==i,select=c(essai,session,tr,pr))

# données du sujet i, session j

si <- subset(data,sujet==i & session==j)

# transformation des variables après subset()

si$essai <- as.factor(si$essai)

str(si)

#####

# Normale (tr) + Binomiale (pr);

#####

set.seed(1)

# modèle complet : full

# 1 état

full.1

<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1+essai),data=si,nstates=1,instart=runif(1),

family=list(gaussian(),multinomial()))

full.1 <- fit(full.1)

summary(full.1)

BIC(full.1)

# 2 états

full.2
```

¹ Visser, I., & Speekenbrink, M. (2010). DepmixS4: An R package for Hidden Markov Models. *Journal of Statistical Software*, 36(7),1-21.

```

<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1+essai),data=si,nstates=2,instart=runif(2),
family=list(gaussian(),multinomial()))
full.2 <- fit(full.2)
summary(full.2)
BIC(full.2)
# 3 états
full.3
<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1+essai),data=si,nstates=3,instart=runif(3),
family=list(gaussian(),multinomial()))
full.3 <- fit(full.3)
summary(full.3)
BIC(full.3)
# 4 états
full.4
<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1+essai),data=si,nstates=4,instart=runif(4),
family=list(gaussian(),multinomial()))
full.4 <- fit(full.4)
summary(full.4)
BIC(full.4)
# modèle tr.full.pr.1
# 1 état
tr.full.pr.1.1
<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1),data=si,nstates=1,instart=runif(1),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.full.pr.1.1 <- fit(tr.full.pr.1.1)
summary(tr.full.pr.1.1)
BIC(tr.full.pr.1.1)
# 2 états
tr.full.pr.1.2
<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1),data=si,nstates=2,instart=runif(2),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.full.pr.1.2 <- fit(tr.full.pr.1.2)
summary(tr.full.pr.1.2)
BIC(tr.full.pr.1.2)
# 3 états

```

```

tr.full.pr.1.3
<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1),data=si,nstates=3,instart=runif(3),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.full.pr.1.3 <- fit(tr.full.pr.1.3)
summary(tr.full.pr.1.3)
BIC(tr.full.pr.1.3)
# 4 états
tr.full.pr.1.4
<- depmix(list(tr~1+essai,pr~1),data=si,nstates=4,instart=runif(4),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.full.pr.1.4 <- fit(tr.full.pr.1.4)
summary(tr.full.pr.1.4)
BIC(tr.full.pr.1.4)
# modèle tr.1.pr.full
# 1 état
tr.1.pr.full.1
<- depmix(list(tr~1,pr~1+essai),data=si,nstates=1,instart=runif(1),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.full.1 <- fit(tr.1.pr.full.1)
summary(tr.1.pr.full.1)
BIC(tr.1.pr.full.1)
# 2 états
tr.1.pr.full.2
<- depmix(list(tr~1,pr~1+essai),data=si,nstates=2,instart=runif(2),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.full.2 <- fit(tr.1.pr.full.2)
summary(tr.1.pr.full.2)
BIC(tr.1.pr.full.2)
# 3 états
tr.1.pr.full.3
<- depmix(list(tr~1,pr~1+essai),data=si,nstates=3,instart=runif(3),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.full.3 <- fit(tr.1.pr.full.3)
summary(tr.1.pr.full.3)
BIC(tr.1.pr.full.3)

```

```

# 4 états
tr.1.pr.full.4
<- depmix(list(tr~1,pr~1+essai),data=si,nstates=4,instart=runif(4),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.full.4 <- fit(tr.1.pr.full.4)
summary(tr.1.pr.full.4)
BIC(tr.1.pr.full.4)
# modèle tr.1.pr.1
# 1 état
tr.1.pr.1.1 <- depmix(list(tr~1,pr~1),data=si,nstates=1,instart=runif(1),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.1.1 <- fit(tr.1.pr.1.1)
summary(tr.1.pr.1.1)
BIC(tr.1.pr.1.1)
# 2 états
tr.1.pr.1.2 <- depmix(list(tr~1,pr~1),data=si,nstates=2,instart=runif(2),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.1.2 <- fit(tr.1.pr.1.2)
summary(tr.1.pr.1.2)
BIC(tr.1.pr.1.2)
# 3 états
tr.1.pr.1.3 <- depmix(list(tr~1,pr~1),data=si,nstates=3,instart=runif(3),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.1.3 <- fit(tr.1.pr.1.3)
summary(tr.1.pr.1.3)
BIC(tr.1.pr.1.3)
# 4 états
tr.1.pr.1.4 <- depmix(list(tr~1,pr~1),data=si,nstates=4,instart=runif(4),
family=list(gaussian(),multinomial()))
tr.1.pr.1.4 <- fit(tr.1.pr.1.4)
summary(tr.1.pr.1.4)
BIC(tr.1.pr.1.4)
# Vecteur des BIC de tous les modèles testés
BICs <- c(
BIC(full.1),#1

```

```

BIC(full.2),#2
BIC(full.3),#3
BIC(full.4),#4
BIC(tr.full.pr.1.1),#5
BIC(tr.full.pr.1.2),#6
BIC(tr.full.pr.1.3),#7
BIC(tr.full.pr.1.4),#8
BIC(tr.1.pr.full.1),#9
BIC(tr.1.pr.full.2),#10
BIC(tr.1.pr.full.3),#11
BIC(tr.1.pr.full.4),#12
BIC(tr.1.pr.1.1),#13
BIC(tr.1.pr.1.2),#14
BIC(tr.1.pr.1.3),#15
BIC(tr.1.pr.1.4)#16
# position dans la liste du plus petit BIC
min(BICs)
# si pb (certains modèles peuvent ne pas avoir convergé)
# pour identifier la plus petite valeur du BIC
sort(BICs)
# pour repérer le n° du modèle connaissant la valeur du BIC
BICs
#####
# Normale (tr) : Si la précision est de 100%
#####
set.seed(1)
# modèle essai
# 1 état
tr.e.1
<- depmix(tr~1+essai,data=si,nstates=1,instart=runif(1),family=gaussian())
tr.e.1 <- fit(tr.e.1)
summary(tr.e.1)
BIC(tr.e.1)
# 2 états
tr.e.2

```

```

<- depmix(tr~1+essai,data=si,nstates=2,instart=runif(2),family=gaussian())
tr.e.2 <- fit(tr.e.2)
summary(tr.e.2)
BIC(tr.e.2)
# 3 états
tr.e.3
<- depmix(tr~1+essai,data=si,nstates=3,instart=runif(3),family=gaussian())
tr.e.3 <- fit(tr.e.3)
summary(tr.e.3)
BIC(tr.e.3)
# 4 états
tr.e.4
<- depmix(tr~1+essai,data=si,nstates=4,instart=runif(4),family=gaussian())
tr.e.4 <- fit(tr.e.4)
summary(tr.e.4)
BIC(tr.e.4)
# modèle intercept
# 1 état
tr.1.1 <- depmix(tr~1,data=si,nstates=1,instart=runif(1),family=gaussian())
tr.1.1 <- fit(tr.1.1)
summary(tr.1.1)
BIC(tr.1.1)
# 2 états
tr.1.2 <- depmix(tr~1,data=si,nstates=2,instart=runif(2),family=gaussian())
tr.1.2 <- fit(tr.1.2)
summary(tr.1.2)
BIC(tr.1.2)
# 3 états
tr.1.3 <- depmix(tr~1,data=si,nstates=3,instart=runif(3),family=gaussian())
tr.1.3 <- fit(tr.1.3)
summary(tr.1.3)
BIC(tr.1.3)
# 4 états
tr.1.4 <- depmix(tr~1,data=si,nstates=4,instart=runif(4),family=gaussian())
tr.1.4 <- fit(tr.1.4)

```

```
summary(tr.1.4)
BIC(tr.1.4)
# Vecteur des BIC de tous les modèles testés
BICtrs <- c(
BIC(tr.e.1),#1
BIC(tr.e.2),#2
BIC(tr.e.3),#3
BIC(tr.e.4),#4
BIC(tr.1.1),#5
BIC(tr.1.2),#6
BIC(tr.1.3),#7
BIC(tr.1.4))#8
# position dans la liste du plus petit BIC
min(BICtrs)
# si pb (certains modèles peuvent ne pas avoir convergé)
# pour identifier la plus petite valeur du BIC
sort(BICtrs)
# pour repérer le n° du modèle connaissant la valeur du BIC
BICtrs
```

3. ANNEXE 3 : Résultats détaillés des analyses de régression de la performance évaluée à t7 et à t8 sur la VII de la performance des sessions 1 à 6

3.1. Dispersion (ETi)

Résultats des analyses de régression de la performance à t7 et à t8 sur la dispersion (ETi) et sur le niveau moyen de performance (Mi) des sessions 1 à 6.

Tableau 22 : Analyses de régression du TR à la tâche AX-cpt (essai AX, BX, AY et BY) et du TR au TMTB à t7 et t8 sur la dispersion et le niveau moyen de performance aux tests cognitifs à t0, * p<.05.

| | dispersion (ETi) | | | | niveau moyen (Mi) | | | |
|-----------|------------------|-----------------|---------------------|-------|-------------------|-----------------|---------------------|---------|
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 182,36 | 117,45 | 0,26 | 0,13 | -109,27 | 40,60 | -0,45 | 0,01* |
| TR_BX | 340,19 | 136,50 | 0,35 | 0,02* | -182,29 | 47,10 | -0,54 | <0,001* |
| TR_AY | 114,48 | 173,55 | 0,11 | 0,52 | -181,60 | 59,98 | -0,51 | <0,01* |
| TR_BY | 190,90 | 86,71 | 0,27 | 0,04* | -165,33 | 29,97 | -0,68 | <0,001* |
| TR_TMTB | 70,78 | 73,62 | 0,13 | 0,35 | -130,04 | 25,44 | -0,70 | <0,001* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | 126,93 | 81,20 | 0,21 | 0,22 | -118,09 | 101,00 | -0,58 | <0,01* |
| TR_BX | 325,69 | 174,00 | 0,30 | 0,08 | -197,21 | 57,00 | -0,55 | <0,01* |
| TR_AY | 242,76 | 213,41 | 0,20 | 0,27 | -196,68 | 71,75 | -0,49 | 0,01* |
| TR_BY | 263,31 | 133,54 | 0,27 | 0,06 | -220,68 | 44,20 | -0,68 | <0,001* |
| TR_TMTB | 58,92 | 59,26 | 0,12 | 0,33 | -122,07 | 19,61 | -0,78 | <0,001* |

3.2. Inconsistance (cvTR)

Résultats des analyses de régression de la performance à t7 et à t8 sur le cvTR et sur le TR moyen des sessions 1 à 6.

Tableau 23 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 1, * p<.05.

| | session 1 | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,88 | 0,85 | -0,29 | 0,13 | 0,04 | 0,12 | 0,86 | <0,001* |
| TR_BX | -1,63 | 1,07 | -0,19 | 0,14 | 1,13 | 0,16 | 0,88 | <0,001* |
| TR_AY | -1,67 | 1,09 | -0,18 | 0,14 | 1,21 | 0,16 | 0,89 | <0,001* |
| TR_BY | -1,45 | 0,76 | -0,23 | 0,07 | 0,83 | 0,11 | 0,90 | <0,001* |
| TR_TMTB | 0,55 | 0,87 | 0,11 | 0,53 | 0,36 | 0,13 | 0,50 | 0,01* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,37 | 0,72 | -0,25 | 0,07 | 0,73 | 0,11 | 0,89 | <0,001* |
| TR_BX | -1,86 | 1,31 | -0,19 | 0,17 | 1,27 | 0,20 | 0,87 | <0,001* |
| TR_AY | -1,41 | 1,73 | -0,13 | 0,42 | 1,23 | 0,26 | 0,76 | <0,001* |
| TR_BY | -1,85 | 1,28 | -0,21 | 0,16 | 1,11 | 0,19 | 0,84 | <0,001* |
| TR_TMTB | 0,03 | 0,75 | 0,01 | 0,97 | 0,40 | 0,11 | 0,64 | 0,002* |

Tableau 24 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 2, * p<.05.

| | session 2 | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,61 | 0,73 | -0,31 | 0,037* | 0,63 | 0,14 | 0,65 | <0,001* |
| TR_BX | 0,27 | 0,70 | 0,04 | 0,71 | 1,16 | 0,13 | 0,86 | <0,001* |
| TR_AY | -0,94 | 0,97 | -0,13 | 0,34 | 1,07 | 0,18 | 0,75 | <0,001* |
| TR_BY | -0,81 | 0,61 | -0,16 | 0,20 | 0,78 | 0,12 | 0,80 | <0,001* |
| TR_TMTB | 0,13 | 0,70 | 0,03 | 0,86 | 0,32 | 0,13 | 0,42 | 0,025* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,64 | 0,56 | -0,14 | 0,27 | 0,67 | 0,10 | 0,81 | <0,001* |
| TR_BX | 0,52 | 1,02 | 0,07 | 0,62 | 1,17 | 0,19 | 0,79 | <0,001* |
| TR_AY | -0,58 | 1,44 | -0,07 | 0,69 | 1,04 | 0,27 | 0,63 | <0,001* |
| TR_BY | -0,83 | 0,93 | -0,11 | 0,39 | 1,06 | 0,17 | 0,79 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,07 | 0,61 | -0,02 | 0,90 | 0,36 | 0,11 | 0,56 | 0,005* |

Tableau 25 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 3, * p<.05.

| session 3 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,76 | 1,08 | -0,20 | 0,12 | 0,87 | 0,12 | 0,90 | <0,001* |
| TR_BX | -2,60 | 1,70 | -0,21 | 0,14 | 1,12 | 0,18 | 0,84 | <0,001* |
| TR_AY | -0,68 | 1,65 | -0,05 | 0,68 | 1,18 | 0,18 | 0,83 | <0,001* |
| TR_BY | -2,75 | 0,98 | -0,31 | 0,009* | 0,92 | 0,11 | 0,95 | <0,001* |
| TR_TMTB | 0,16 | 1,31 | 0,02 | 0,91 | 0,35 | 0,14 | 0,46 | 0,023* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,83 | 0,78 | -0,24 | 0,028* | 0,82 | 0,08 | 0,99 | <0,001* |
| TR_BX | -4,31 | 2,17 | -0,32 | 0,06 | 1,24 | 0,24 | 0,84 | <0,001* |
| TR_AY | -3,91 | 2,56 | -0,26 | 0,14 | 1,28 | 0,28 | 0,78 | <0,001* |
| TR_BY | -3,60 | 1,32 | -0,29 | 0,012* | 1,32 | 0,14 | 0,99 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,86 | 1,11 | -0,15 | 0,45 | 0,43 | 0,12 | 0,67 | 0,002* |

Tableau 26 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 4, * p<.05.

| session 4 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|---------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,07 | 1,31 | -0,01 | 0,96 | 0,75 | 0,16 | 0,79 | <0,001* |
| TR_BX | -6,15 | 1,44 | -0,57 | <0,001* | 1,49 | 0,17 | 1,15 | <0,001* |
| TR_AY | 1,00 | 1,91 | 0,09 | 0,61 | 0,99 | 0,23 | 0,72 | <0,001* |
| TR_BY | -4,25 | 0,94 | -0,54 | <0,001* | 1,10 | 0,11 | 1,17 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,57 | 1,39 | -0,09 | 0,68 | 0,42 | 0,16 | 0,58 | 0,017* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -2,01 | 1,01 | -0,27 | 0,06 | 0,85 | 0,11 | 1,04 | <0,001* |
| TR_BX | -6,36 | 2,15 | -0,49 | 0,007* | 1,55 | 0,24 | 1,07 | <0,001* |
| TR_AY | 1,32 | 2,35 | 0,10 | 0,58 | 1,16 | 0,27 | 0,73 | <0,001* |
| TR_BY | -3,42 | 1,34 | -0,29 | 0,018* | 1,43 | 0,15 | 1,09 | <0,001* |
| TR_TMTB | -1,22 | 1,18 | -0,21 | 0,31 | 0,52 | 0,13 | 0,83 | <0,001* |

Tableau 27 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 5, * p<.05.

| session 5 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|---------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 0,91 | 1,56 | 0,07 | 0,56 | 0,80 | 0,12 | 0,79 | <0,001* |
| TR_BX | 0,70 | 1,98 | 0,04 | 0,73 | 1,16 | 0,16 | 0,82 | <0,001* |
| TR_AY | 2,04 | 2,13 | 0,11 | 0,35 | 1,20 | 0,17 | 0,81 | <0,001* |
| TR_BY | -2,30 | 1,18 | -0,18 | 0,06 | 0,88 | 0,09 | 0,87 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,49 | 1,72 | -0,05 | 0,78 | 0,37 | 0,14 | 0,47 | 0,012* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,14 | 1,45 | -0,07 | 0,44 | 0,77 | 0,08 | 0,90 | <0,001* |
| TR_BX | 1,85 | 3,87 | 0,07 | 0,64 | 1,17 | 0,21 | 0,77 | <0,001* |
| TR_AY | 10,92 | 2,23 | 0,49 | <0,001* | 1,24 | 0,17 | 0,73 | <0,001* |
| TR_BY | -3,79 | 1,99 | -0,15 | 0,07 | 1,27 | 0,11 | 0,92 | <0,001* |
| TR_TMTB | -1,19 | 1,99 | -0,10 | 0,56 | 0,42 | 0,11 | 0,64 | <0,001* |

Tableau 28 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR session 6, * p<.05.

| session 6 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,64 | 1,08 | -0,17 | 0,14 | 0,83 | 0,10 | 0,88 | <0,001* |
| TR_BX | 3,63 | 1,42 | 0,27 | 0,017* | 0,96 | 0,13 | 0,74 | <0,001* |
| TR_AY | 2,05 | 1,21 | 0,14 | 0,10 | 1,17 | 0,12 | 0,86 | <0,001* |
| TR_BY | 0,06 | 0,99 | 0,01 | 0,95 | 0,82 | 0,09 | 0,87 | <0,001* |
| TR_TMTB | 2,90 | 1,28 | 0,38 | 0,032* | 0,23 | 0,12 | 0,33 | 0,06 |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,17 | 0,53 | -0,14 | 0,037* | 0,79 | 0,05 | 0,99 | <0,001* |
| TR_BX | 2,53 | 1,90 | 0,17 | 0,20 | 1,07 | 0,18 | 0,76 | <0,001* |
| TR_AY | 3,33 | 2,50 | 0,20 | 0,20 | 1,03 | 0,23 | 0,65 | <0,001* |
| TR_BY | -0,91 | 1,38 | -0,07 | 0,52 | 1,16 | 0,13 | 0,91 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,67 | 1,12 | 0,26 | 0,15 | 0,31 | 0,11 | 0,51 | 0,007* |

3.3. Instabilité temporelle et irrégularité de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD)

Résultats des analyses de régression de la performance à t7 et à t8 sur les mesures de l'instabilité temporelle (MSSD et IRR.MSSD) et sur le TR moyen des sessions 1 à 6.

Tableau 29 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 1, * p<.05.

| session 1 | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -2,64E-05 | 4,10E-05 | -0,09 | 0,52 | 0,71 | 0,13 | 0,77 | <0,001* |
| TR_BX | -1,34E-05 | 4,94E-05 | -0,03 | 0,79 | 1,05 | 0,16 | 0,82 | <0,001* |
| TR_AY | -4,33E-05 | 5,00E-05 | -0,10 | 0,39 | 1,16 | 0,16 | 0,86 | <0,001* |
| TR_BY | 3,42E-07 | 3,61E-05 | 0,00 | 0,99 | 0,75 | 0,12 | 0,81 | <0,001* |
| TR_TMTB | 2,81E-05 | 3,88E-05 | 0,13 | 0,47 | 0,36 | 0,12 | 0,50 | 0,008* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | 7,90E-06 | 3,74E-05 | 0,03 | 0,83 | 0,63 | 0,12 | 0,78 | <0,001* |
| TR_BX | -7,97E-05 | 6,39E-05 | -0,17 | 0,23 | 1,26 | 0,20 | 0,87 | <0,001* |
| TR_AY | -5,30E-05 | 8,35E-05 | -0,10 | 0,53 | 1,22 | 0,27 | 0,75 | <0,001* |
| TR_BY | 5,08E-05 | 6,37E-05 | 0,12 | 0,43 | 0,92 | 0,20 | 0,70 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,74E-05 | 3,60E-05 | 0,09 | 0,63 | 0,38 | 0,11 | 0,60 | 0,003* |
| IRR.MSSD | | | | | | | | |
| | IRR.MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 3,02E-06 | 1,32E-05 | 0,03 | 0,82 | 0,68 | 0,13 | 0,73 | <0,001* |
| TR_BX | 1,60E-06 | 1,58E-05 | 0,01 | 0,92 | 1,03 | 0,15 | 0,80 | <0,001* |
| TR_AY | 6,04E-07 | 1,62E-05 | 0,00 | 0,97 | 1,11 | 0,16 | 0,82 | <0,001* |
| TR_BY | 1,03E-05 | 1,13E-05 | 0,11 | 0,37 | 0,72 | 0,11 | 0,78 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,64E-05 | 1,21E-05 | 0,22 | 0,19 | 0,34 | 0,12 | 0,48 | 0,007* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | 1,45E-05 | 1,15E-05 | 0,17 | 0,22 | 0,60 | 0,11 | 0,73 | <0,001* |
| TR_BX | -1,03E-05 | 2,08E-05 | -0,07 | 0,62 | 1,18 | 0,20 | 0,82 | <0,001* |
| TR_AY | 7,72E-06 | 2,67E-05 | 0,05 | 0,78 | 1,12 | 0,26 | 0,69 | <0,001* |
| TR_BY | 4,16E-05 | 1,85E-05 | 0,30 | 0,035* | 0,85 | 0,18 | 0,65 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,55E-05 | 1,10E-05 | 0,24 | 0,17 | 0,35 | 0,11 | 0,56 | 0,003* |

Tableau 30 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 2, * p<.05.

| session 2 | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,32E-04 | -1,32E-04 | -0,32 | 0,032* | 0,67 | 0,14 | 0,69 | <0,001* |
| TR_BX | 6,39E-06 | 5,65E-05 | 0,01 | 0,91 | 1,16 | 0,14 | 0,86 | <0,001* |
| TR_AY | -6,52E-05 | 7,80E-05 | -0,11 | 0,41 | 1,09 | 0,19 | 0,77 | <0,001* |
| TR_BY | -7,15E-05 | 4,86E-05 | -0,18 | 0,15 | 0,80 | 0,12 | 0,82 | <0,001* |
| TR_TMTB | -2,64E-05 | 5,62E-05 | -0,08 | 0,64 | 0,33 | 0,14 | 0,44 | 0,021* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -5,88E-05 | 6,06E-05 | -0,13 | 0,34 | 0,69 | 0,11 | 0,84 | <0,001* |
| TR_BX | -2,98E-05 | 1,09E-04 | -0,04 | 0,79 | 1,19 | 0,20 | 0,81 | <0,001* |
| TR_AY | -6,16E-05 | 1,55E-04 | -0,07 | 0,69 | 1,07 | 0,28 | 0,65 | 0,001* |
| TR_BY | -1,23E-04 | 9,86E-05 | -0,17 | 0,23 | 1,12 | 0,18 | 0,84 | <0,001* |
| TR_TMTB | -5,46E-05 | 6,45E-05 | -0,16 | 0,41 | 0,39 | 0,12 | 0,61 | 0,003* |
| | IRR.MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -2,26E-05 | 1,25E-05 | -0,26 | 0,08 | 0,62 | 0,14 | 0,63 | <0,001* |
| TR_BX | -2,00E-06 | 1,17E-05 | -0,02 | 0,87 | 1,16 | 0,13 | 0,86 | <0,001* |
| TR_AY | -1,14E-05 | 1,63E-05 | -0,09 | 0,49 | 1,06 | 0,18 | 0,75 | <0,001* |
| TR_BY | -1,23E-05 | 1,02E-05 | -0,14 | 0,24 | 0,77 | 0,12 | 0,79 | <0,001* |
| TR_TMTB | -6,30E-06 | 1,17E-05 | -0,10 | 0,59 | 0,32 | 0,13 | 0,43 | 0,022* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,39E-05 | 1,49E-05 | -0,12 | 0,36 | 0,67 | 0,11 | 0,81 | <0,001* |
| TR_BX | -1,72E-05 | 2,66E-05 | -0,08 | 0,52 | 1,19 | 0,19 | 0,81 | <0,001* |
| TR_AY | -2,42E-05 | 3,76E-05 | -0,10 | 0,53 | 1,05 | 0,27 | 0,64 | <0,001* |
| TR_BY | -2,94E-05 | 2,42E-05 | -0,16 | 0,24 | 1,07 | 0,17 | 0,81 | <0,001* |
| TR_TMTB | -1,44E-05 | 1,58E-05 | -0,16 | 0,37 | 0,37 | 0,11 | 0,58 | 0,003* |

Tableau 31 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 3, * p<.05.

| session 3 | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|----------|---------|-----------------|---------------------|----------|
| | MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | <i>p</i> | β | erreur standard | β standardisé | <i>p</i> |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 6,63E-05 | 3,17E-05 | 0,23 | 0,046* | 0,73 | 0,11 | 0,75 | <0,001* |
| TR_BX | -2,39E-05 | 5,33E-05 | -0,06 | 0,66 | 1,03 | 0,18 | 0,77 | <0,001* |
| TR_AY | -2,42E-06 | 5,00E-05 | -0,01 | 0,96 | 1,15 | 0,17 | 0,81 | <0,001* |
| TR_BY | -2,50E-05 | 3,34E-05 | -0,09 | 0,46 | 0,82 | 0,11 | 0,84 | <0,001* |
| TR_TMTB | -1,87E-05 | 3,94E-05 | -0,08 | 0,64 | 0,37 | 0,13 | 0,50 | 0,010* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,80E-05 | 4,50E-05 | -0,05 | 0,69 | 0,75 | 0,09 | 0,90 | <0,001* |
| TR_BX | -9,83E-05 | 1,20E-04 | -0,14 | 0,42 | 1,11 | 0,25 | 0,76 | <0,001* |
| TR_AY | 2,14E-04 | 6,41E-05 | 0,45 | 0,003* | 0,89 | 0,22 | 0,54 | <0,001* |
| TR_BY | -9,22E-05 | 7,63E-05 | -0,15 | 0,24 | 1,23 | 0,16 | 0,93 | <0,001* |
| TR_TMTB | -3,23E-06 | 5,82E-05 | -0,01 | 0,96 | 0,39 | 0,12 | 0,61 | 0,004* |
| | IRR.MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | <i>p</i> | β | erreur standard | β standardisé | <i>p</i> |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 1,75E-05 | 9,88E-06 | 0,20 | 0,09 | 0,73 | 0,11 | 0,75 | <0,001* |
| TR_BX | 2,79E-07 | 1,63E-05 | 0,00 | 0,99 | 1,00 | 0,18 | 0,75 | <0,001* |
| TR_AY | -7,76E-06 | 1,52E-05 | -0,06 | 0,61 | 1,17 | 0,17 | 0,83 | <0,001* |
| TR_BY | 5,56E-07 | 1,03E-05 | 0,01 | 0,96 | 0,79 | 0,12 | 0,81 | <0,001* |
| TR_TMTB | -3,67E-06 | 1,21E-05 | -0,06 | 0,76 | 0,37 | 0,14 | 0,49 | 0,012* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | 2,89E-06 | 9,70E-06 | 0,03 | 0,77 | 0,72 | 0,09 | 0,87 | <0,001* |
| TR_BX | -8,07E-06 | 2,62E-05 | -0,05 | 0,76 | 1,04 | 0,24 | 0,71 | <0,001* |
| TR_AY | 4,61E-05 | 2,18E-05 | 0,32 | 0,045* | 0,93 | 0,25 | 0,56 | 0,001* |
| TR_BY | -2,24E-06 | 1,69E-05 | -0,02 | 0,90 | 1,15 | 0,16 | 0,86 | <0,001* |
| TR_TMTB | 7,93E-06 | 1,24E-05 | 0,12 | 0,53 | 0,36 | 0,12 | 0,56 | 0,005* |

Tableau 32 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 4, * p<.05.

| session 4 | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -5,40E-05 | 5,20E-05 | -0,14 | 0,31 | 0,79 | 0,12 | 0,85 | <0,001* |
| TR_BX | 1,69E-07 | 7,63E-05 | 0,00 | 1,00 | 0,99 | 0,18 | 0,76 | <0,001* |
| TR_AY | -2,61E-05 | 7,75E-05 | -0,05 | 0,74 | 1,09 | 0,18 | 0,80 | <0,001* |
| TR_BY | -2,24E-08 | 5,10E-05 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,12 | 0,81 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,57E-04 | 4,73E-05 | 0,52 | 0,003* | 0,21 | 0,11 | 0,30 | 0,07 |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -6,43E-05 | 4,13E-05 | -0,17 | 0,13 | 0,75 | 0,09 | 0,92 | <0,001* |
| TR_BX | 7,94E-05 | 9,93E-05 | 0,12 | 0,43 | 1,01 | 0,22 | 0,70 | <0,001* |
| TR_AY | 8,54E-05 | 9,04E-05 | 0,13 | 0,35 | 1,18 | 0,22 | 0,74 | <0,001* |
| TR_BY | -3,20E-05 | 6,00E-05 | -0,05 | 0,60 | 1,20 | 0,13 | 0,92 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,27E-04 | 3,93E-05 | 0,45 | 0,004* | 0,32 | 0,09 | 0,51 | 0,001* |
| | IRR.MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,49E-05 | 1,38E-05 | -0,14 | 0,29 | 0,79 | 0,12 | 0,84 | <0,001* |
| TR_BX | -8,55E-07 | 2,02E-05 | -0,01 | 0,97 | 0,99 | 0,18 | 0,77 | <0,001* |
| TR_AY | -1,27E-05 | 2,05E-05 | -0,08 | 0,54 | 1,11 | 0,18 | 0,82 | <0,001* |
| TR_BY | -3,76E-06 | 1,35E-05 | -0,04 | 0,78 | 0,77 | 0,12 | 0,82 | <0,001* |
| TR_TMTB | 3,47E-05 | 1,33E-05 | 0,42 | 0,015* | 0,25 | 0,12 | 0,35 | 0,041* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,66E-05 | 1,08E-05 | -0,17 | 0,14 | 0,74 | 0,09 | 0,92 | <0,001* |
| TR_BX | 9,48E-06 | 2,63E-05 | 0,05 | 0,72 | 1,04 | 0,22 | 0,72 | <0,001* |
| TR_AY | 1,64E-05 | 2,42E-05 | 0,09 | 0,50 | 1,21 | 0,21 | 0,76 | 0,001* |
| TR_BY | -1,24E-05 | 1,56E-05 | -0,08 | 0,44 | 1,21 | 0,13 | 0,92 | <0,001* |
| TR_TMTB | 2,68E-05 | 1,11E-05 | 0,36 | 0,025* | 0,35 | 0,09 | 0,56 | 0,001* |

Tableau 33 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 5, * p<.05.

| session 5 | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -3,93E-05 | 1,63E-04 | -0,03 | 0,81 | 0,81 | 0,13 | 0,79 | <0,001* |
| TR_BX | 4,30E-04 | 1,88E-04 | 0,24 | 0,031* | 1,05 | 0,15 | 0,75 | <0,001* |
| TR_AY | 1,96E-04 | 2,21E-04 | 0,11 | 0,38 | 1,16 | 0,18 | 0,78 | <0,001* |
| TR_BY | 1,05E-04 | 1,30E-04 | 0,08 | 0,43 | 0,86 | 0,10 | 0,84 | <0,001* |
| TR_TMTB | 4,61E-04 | 1,53E-04 | 0,47 | 0,006* | 0,26 | 0,12 | 0,33 | 0,045* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,23E-04 | 1,14E-04 | -0,10 | 0,29 | 0,80 | 0,08 | 0,94 | <0,001* |
| TR_BX | 5,05E-04 | 2,91E-04 | 0,24 | 0,10 | 1,05 | 0,21 | 0,69 | <0,001* |
| TR_AY | 9,15E-04 | 2,59E-04 | 0,43 | 0,002* | 1,03 | 0,21 | 0,60 | <0,001* |
| TR_BY | 7,30E-05 | 1,70E-04 | 0,04 | 0,67 | 1,25 | 0,12 | 0,91 | <0,001* |
| TR_TMTB | 3,99E-04 | 1,36E-04 | 0,43 | 0,008* | 0,33 | 0,10 | 0,50 | 0,003* |
| | IRR.MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -6,77E-06 | 3,69E-05 | -0,02 | 0,86 | 0,81 | 0,13 | 0,79 | <0,001* |
| TR_BX | 1,07E-04 | 4,18E-05 | 0,26 | 0,017* | 1,10 | 0,14 | 0,78 | <0,001* |
| TR_AY | 3,02E-05 | 5,05E-05 | 0,07 | 0,55 | 1,19 | 0,17 | 0,80 | <0,001* |
| TR_BY | 3,91E-05 | 2,88E-05 | 0,13 | 0,19 | 0,86 | 0,10 | 0,84 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,18E-04 | 3,32E-05 | 0,51 | 0,001* | 0,30 | 0,11 | 0,38 | 0,013* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -2,35E-05 | 2,56E-05 | -0,08 | 0,37 | 0,79 | 0,08 | 0,92 | <0,001* |
| TR_BX | 1,11E-04 | 6,49E-05 | 0,22 | 0,10 | 1,11 | 0,20 | 0,72 | <0,001* |
| TR_AY | 1,95E-04 | 6,03E-05 | 0,39 | 0,004* | 1,14 | 0,21 | 0,66 | <0,001* |
| TR_BY | 3,29E-05 | 3,75E-05 | 0,07 | 0,39 | 1,25 | 0,12 | 0,91 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,01E-04 | 2,84E-05 | 0,47 | 0,002* | 0,37 | 0,09 | 0,56 | 0,001* |

Tableau 34 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur MSSD et IRR.MSSD et TR session 6, * p<.05.

| session 6 | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|---------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 1,14E-04 | 4,31E-05 | 0,29 | 0,014* | 0,64 | 0,10 | 0,68 | <0,001* |
| TR_BX | -2,18E-05 | 6,84E-05 | -0,04 | 0,752 | 1,09 | 0,17 | 0,84 | <0,001* |
| TR_AY | 2,04E-04 | 3,81E-05 | 0,36 | <0,001* | 0,98 | 0,09 | 0,72 | <0,001* |
| TR_BY | -3,94E-05 | 4,20E-05 | -0,10 | 0,36 | 0,87 | 0,10 | 0,92 | <0,001* |
| TR_TMTB | 8,79E-06 | 6,03E-05 | 0,03 | 0,885 | 0,31 | 0,15 | 0,42 | 0,047* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -2,91E-05 | 2,93E-05 | -0,08 | 0,33 | 0,79 | 0,06 | 1,00 | <0,001* |
| TR_BX | -3,81E-06 | 1,01E-04 | -0,01 | 0,97 | 1,14 | 0,22 | 0,81 | <0,001* |
| TR_AY | 2,82E-04 | 9,30E-05 | 0,44 | 0,006* | 0,77 | 0,23 | 0,49 | 0,003* |
| TR_BY | -1,44E-04 | 6,47E-05 | -0,25 | 0,037* | 1,32 | 0,14 | 1,03 | <0,001* |
| TR_TMTB | -3,63E-05 | 6,01E-05 | -0,13 | 0,55 | 0,40 | 0,13 | 0,66 | 0,005* |
| | IRR.MSSD | | | | TR | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 2,70E-05 | 1,28E-05 | 0,24 | 0,046* | 0,68 | 0,11 | 0,72 | <0,001* |
| TR_BX | 7,82E-06 | 1,95E-05 | 0,05 | 0,69 | 1,03 | 0,16 | 0,80 | <0,001* |
| TR_AY | 5,45E-05 | 1,16E-05 | 0,33 | <0,001* | 1,02 | 0,10 | 0,75 | <0,001* |
| TR_BY | -3,65E-06 | 1,22E-05 | -0,03 | 0,77 | 0,83 | 0,10 | 0,89 | <0,001* |
| TR_TMTB | 1,55E-05 | 1,70E-05 | 0,18 | 0,37 | 0,26 | 0,14 | 0,36 | 0,08 |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -9,17E-06 | 8,11E-06 | -0,09 | 0,27 | 0,79 | 0,06 | 1,00 | <0,001* |
| TR_BX | 1,12E-05 | 2,81E-05 | 0,06 | 0,70 | 1,09 | 0,21 | 0,77 | <0,001* |
| TR_AY | 8,08E-05 | 2,66E-05 | 0,43 | 0,006* | 0,80 | 0,22 | 0,51 | 0,001* |
| TR_BY | -3,02E-05 | 1,89E-05 | -0,18 | 0,12 | 1,26 | 0,14 | 0,98 | <0,001* |
| TR_TMTB | 3,67E-06 | 1,68E-05 | 0,05 | 0,83 | 0,34 | 0,13 | 0,56 | 0,013* |

3.4. Variabilité du comportement intra-tâche (nombre d'états)

Résultats des analyses de régression de la performance à t7 et à t8 sur le nombre d'états des sessions 1 à 6.

Tableau 35 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 1, * p<.05.

| session 1 | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|------|
| | état | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | |
| TR_AX | 37,63 | 48,49 | 0,15 | 0,44 |
| TR_BX | -78,78 | 65,70 | -0,22 | 0,24 |
| TR_AY | 31,98 | 70,93 | 0,09 | 0,66 |
| TR_BY | -26,89 | 48,70 | -0,11 | 0,59 |
| TR_TMTB | 26,33 | 37,21 | 0,13 | 0,49 |
| t8 | | | | |
| TR_AX | -18,33 | 50,69 | -0,08 | 0,72 |
| TR_BX | -68,41 | 89,16 | -0,16 | 0,45 |
| TR_AY | 87,82 | 87,88 | 0,20 | 0,33 |
| TR_BY | -11,58 | 81,71 | -0,03 | 0,89 |
| TR_TMTB | 32,63 | 38,53 | 0,17 | 0,41 |

Tableau 36 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 2, * p<.05.

| session 2 | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|--------|
| | état | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | |
| TR_AX | -102,40 | 35,53 | -0,49 | 0,008* |
| TR_BX | -38,38 | 55,38 | -0,13 | 0,49 |
| TR_AY | -99,49 | 55,79 | -0,32 | 0,09 |
| TR_BY | -54,39 | 39,20 | -0,26 | 0,18 |
| TR_TMTB | -9,43 | 31,07 | -0,06 | 0,76 |
| t8 | | | | |
| TR_AX | -65,42 | 36,14 | -0,35 | 0,08 |
| TR_BX | -51,20 | 67,78 | -0,16 | 0,46 |
| TR_AY | -113,33 | 69,54 | -0,32 | 0,12 |
| TR_BY | -77,04 | 60,01 | -0,26 | 0,21 |
| TR_TMTB | -22,59 | 29,35 | -0,16 | 0,45 |

Tableau 37 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 3, * p<.05.

| session 3 | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|------|
| | état | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | |
| TR_AX | 64,16 | 42,34 | 0,28 | 0,14 |
| TR_BX | 36,37 | 60,24 | 0,12 | 0,55 |
| TR_AY | 57,18 | 63,08 | 0,17 | 0,37 |
| TR_BY | 19,55 | 43,88 | 0,09 | 0,66 |
| TR_TMTB | -8,96 | 33,74 | -0,05 | 0,79 |
| t8 | | | | |
| TR_AX | 37,75 | 45,35 | 0,17 | 0,41 |
| TR_BX | 102,86 | 78,90 | 0,26 | 0,21 |
| TR_AY | 128,80 | 76,49 | 0,33 | 0,11 |
| TR_BY | 31,97 | 73,72 | 0,09 | 0,67 |
| TR_TMTB | 1,05 | 35,43 | 0,01 | 0,98 |

Tableau 38 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 4, * p<.05.

| session 4 | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|------|
| | état | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | |
| TR_AX | 27,51 | 42,82 | 0,12 | 0,53 |
| TR_BX | -20,17 | 59,21 | -0,07 | 0,74 |
| TR_AY | 23,51 | 62,49 | 0,07 | 0,71 |
| TR_BY | -2,84 | 43,09 | -0,01 | 0,95 |
| TR_TMTB | 23,51 | 32,74 | 0,14 | 0,48 |
| t8 | | | | |
| TR_AX | -5,40 | 41,15 | -0,03 | 0,90 |
| TR_BX | -6,12 | 73,12 | -0,02 | 0,93 |
| TR_AY | -10,32 | 80,23 | -0,03 | 0,90 |
| TR_BY | 2,92 | 66,20 | 0,01 | 0,97 |
| TR_TMTB | 5,62 | 31,67 | 0,04 | 0,86 |

Tableau 39 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 5, * p<.05.

| session 5 | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|------|
| | état | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | |
| TR_AX | -28,45 | 35,63 | -0,15 | 0,43 |
| TR_BX | 36,50 | 49,07 | 0,14 | 0,46 |
| TR_AY | -11,33 | 52,29 | -0,04 | 0,83 |
| TR_BY | -21,18 | 35,77 | -0,11 | 0,56 |
| TR_TMTB | 7,00 | 27,58 | 0,05 | 0,80 |
| t8 | | | | |
| TR_AX | -12,21 | 35,00 | -0,07 | 0,73 |
| TR_BX | 40,43 | 61,77 | 0,14 | 0,52 |
| TR_AY | 93,64 | 61,61 | 0,30 | 0,14 |
| TR_BY | -8,57 | 56,41 | -0,03 | 0,88 |
| TR_TMTB | 6,00 | 26,98 | 0,05 | 0,83 |

Tableau 40 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur le nombre d'états session 6, * p<.05.

| session 6 | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|------|
| | état | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | |
| TR_AX | 15,77 | 55,73 | 0,05 | 0,78 |
| TR_BX | 122,59 | 73,04 | 0,31 | 0,10 |
| TR_AY | 88,36 | 79,24 | 0,21 | 0,27 |
| TR_BY | 50,75 | 54,88 | 0,18 | 0,36 |
| TR_TMTB | 44,78 | 41,88 | 0,20 | 0,29 |
| t8 | | | | |
| TR_AX | 40,24 | 52,48 | 0,16 | 0,45 |
| TR_BX | 114,93 | 91,32 | 0,25 | 0,22 |
| TR_AY | 132,61 | 99,88 | 0,26 | 0,20 |
| TR_BY | 87,81 | 83,49 | 0,21 | 0,30 |
| TR_TMTB | 43,03 | 39,91 | 0,22 | 0,29 |

3.5. Inconsistance aux essais BX

Résultats des analyses de régression de la performance à t7 et à t8 sur le cvTR et le TR moyen aux essais BX des sessions 1 à 6.

Tableau 41 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 1, * p<.05.

| | session 1 | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|---------------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR_BX | | | | TR_BX | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,91 | 0,88 | -0,18 | 0,31 | 0,39 | 0,12 | 0,58 | 0,003* |
| TR_BX | -1,35 | 0,72 | -0,20 | 0,07 | 0,85 | 0,10 | 0,92 | <0,001* |
| TR_AY | -0,35 | 1,14 | -0,05 | 0,76 | 0,67 | 0,15 | 0,68 | <0,001* |
| TR_BY | -0,71 | 0,60 | -0,14 | 0,25 | 0,58 | 0,08 | 0,86 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,28 | 0,56 | -0,07 | 0,62 | 0,38 | 0,08 | 0,74 | <0,001* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,72 | 0,75 | -0,17 | 0,35 | 0,44 | 0,10 | 0,75 | <0,001* |
| TR_BX | -2,29 | 1,09 | -0,30 | 0,046* | 0,94 | 0,15 | 0,90 | <0,001* |
| TR_AY | -1,96 | 1,60 | -0,23 | 0,23 | 0,79 | 0,22 | 0,67 | 0,002* |
| TR_BY | -1,15 | 1,06 | -0,16 | 0,29 | 0,79 | 0,14 | 0,83 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,63 | 0,49 | -0,19 | 0,22 | 0,39 | 0,07 | 0,85 | <0,001* |

Tableau 42 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 2, *

p<.05.

| session 2 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR_BX | | | | TR_BX | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,24 | 0,56 | -0,39 | 0,035* | 0,41 | 0,13 | 0,56 | 0,004* |
| TR_BX | -1,27 | 0,36 | -0,29 | 0,002* | 1,01 | 0,08 | 0,99 | <0,001* |
| TR_AY | -1,41 | 0,73 | -0,31 | 0,07 | 0,75 | 0,17 | 0,70 | <0,001* |
| TR_BY | -1,25 | 0,38 | -0,40 | 0,003* | 0,65 | 0,09 | 0,88 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,45 | 0,42 | -0,19 | 0,29 | 0,34 | 0,10 | 0,61 | 0,002* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,98 | 0,41 | -0,37 | 0,027* | 0,51 | 0,10 | 0,80 | <0,001* |
| TR_BX | -0,88 | 0,53 | -0,19 | 0,11 | 1,06 | 0,13 | 0,93 | <0,001* |
| TR_AY | -1,50 | 0,98 | -0,28 | 0,14 | 0,78 | 0,23 | 0,62 | 0,003* |
| TR_BY | -1,56 | 0,61 | -0,36 | 0,018* | 0,88 | 0,15 | 0,85 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,49 | 0,35 | -0,24 | 0,18 | 0,35 | 0,09 | 0,71 | <0,001* |

Tableau 43 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 3, * p<.05.

| session 3 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR_BX | | | | TR_BX | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,37 | 0,87 | -0,07 | 0,67 | 0,39 | 0,14 | 0,51 | 0,007* |
| TR_BX | -1,44 | 0,81 | -0,21 | 0,09 | 0,89 | 0,13 | 0,84 | <0,001* |
| TR_AY | 0,49 | 1,23 | 0,07 | 0,69 | 0,57 | 0,19 | 0,52 | 0,006* |
| TR_BY | -1,21 | 0,63 | -0,25 | 0,07 | 0,62 | 0,10 | 0,81 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,31 | 0,63 | -0,08 | 0,63 | 0,35 | 0,10 | 0,59 | 0,001* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,52 | 0,68 | -0,12 | 0,46 | 0,49 | 0,11 | 0,73 | <0,001* |
| TR_BX | -1,80 | 1,26 | -0,24 | 0,17 | 0,83 | 0,20 | 0,70 | <0,001* |
| TR_AY | -1,86 | 1,61 | -0,22 | 0,26 | 0,68 | 0,25 | 0,52 | 0,013* |
| TR_BY | -1,93 | 0,95 | -0,28 | 0,05 | 0,88 | 0,15 | 0,83 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,76 | 0,54 | -0,23 | 0,17 | 0,37 | 0,08 | 0,72 | <0,001* |

Tableau 44 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 4, * p<.05.

| session 4 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|---------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR_BX | | | | TR_BX | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,24 | 1,10 | -0,04 | 0,83 | 0,49 | 0,14 | 0,57 | 0,002* |
| TR_BX | -2,77 | 1,00 | -0,30 | 0,010* | 0,98 | 0,13 | 0,85 | <0,001* |
| TR_AY | -1,25 | 1,58 | -0,13 | 0,44 | 0,72 | 0,20 | 0,59 | 0,001* |
| TR_BY | -2,58 | 0,68 | -0,39 | <0,001* | 0,72 | 0,09 | 0,85 | <0,001* |
| TR_TMTB | -1,06 | 0,83 | -0,21 | 0,21 | 0,38 | 0,11 | 0,59 | 0,001* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -1,66 | 1,32 | -0,19 | 0,22 | 0,52 | 0,11 | 0,71 | <0,001* |
| TR_BX | -4,20 | 2,11 | -0,27 | 0,059 | 0,98 | 0,17 | 0,76 | <0,001* |
| TR_AY | 3,03 | 1,64 | 0,27 | 0,08 | 0,88 | 0,21 | 0,62 | <0,001* |
| TR_BY | -3,34 | 1,72 | -0,24 | 0,06 | 0,96 | 0,14 | 0,82 | <0,001* |
| TR_TMTB | -1,73 | 1,01 | -0,26 | 0,10 | 0,39 | 0,08 | 0,70 | <0,001* |

Tableau 45 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 5, * p<.05.

| session 5 | | | | | | | | |
|-----------|---------|-----------------|---------------------|---------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR_BX | | | | TR_BX | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 0,94 | 0,58 | 0,20 | 0,12 | 0,59 | 0,10 | 0,74 | <0,001* |
| TR_BX | 0,05 | 0,53 | 0,01 | 0,92 | 0,99 | 0,09 | 0,91 | <0,001* |
| TR_AY | 0,51 | 0,79 | 0,08 | 0,52 | 0,91 | 0,14 | 0,79 | 0,001* |
| TR_BY | -0,31 | 0,28 | -0,07 | 0,28 | 0,75 | 0,05 | 0,95 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,17 | 0,57 | -0,05 | 0,77 | 0,34 | 0,10 | 0,56 | 0,002* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,53 | 0,70 | -0,07 | 0,46 | 0,60 | 0,06 | 0,90 | <0,001* |
| TR_BX | 0,13 | 1,22 | 0,01 | 0,913 | 1,06 | 0,11 | 0,90 | <0,001* |
| TR_AY | 3,86 | 0,89 | 0,50 | <0,001* | 0,89 | 0,15 | 0,67 | <0,001* |
| TR_BY | -1,31 | 0,95 | -0,11 | 0,18 | 1,00 | 0,09 | 0,93 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,74 | 0,83 | -0,13 | 0,38 | 0,37 | 0,08 | 0,73 | <0,001* |

Tableau 46 : Régression des TR à la tâche AX-cpt (TR_AX, TR_BX, TR_AY, TR_BY) et au TMTB à t7 et t8 sur cvTR et TR à l'essai BX session 6, * p<.05.

| session 6 | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| | cvTR_BX | | | | TR_BX | | | |
| | β | erreur standard | β standardisé | p | β | erreur standard | β standardisé | p |
| t7 | | | | | | | | |
| TR_AX | 0,41 | 1,71 | 0,04 | 0,81 | 0,47 | 0,12 | 0,59 | <0,001* |
| TR_BX | -2,07 | 1,44 | -0,14 | 0,16 | 0,95 | 0,11 | 0,88 | <0,001* |
| TR_AY | 1,91 | 2,28 | 0,12 | 0,41 | 0,74 | 0,17 | 0,65 | <0,001* |
| TR_BY | -1,62 | 1,02 | -0,15 | 0,13 | 0,70 | 0,07 | 0,89 | <0,001* |
| TR_TMTB | -0,94 | 1,45 | -0,11 | 0,52 | 0,28 | 0,11 | 0,46 | 0,014* |
| t8 | | | | | | | | |
| TR_AX | -0,77 | 0,92 | -0,08 | 0,41 | 0,62 | 0,07 | 0,90 | <0,001* |
| TR_BX | -1,10 | 1,84 | -0,07 | 0,557 | 1,06 | 0,14 | 0,86 | <0,001* |
| TR_AY | -5,97E-04 | 3,39 | 0,00 | 1,00 | 0,65 | 0,24 | 0,49 | 0,013* |
| TR_BY | -3,01 | 1,39 | -0,20 | 0,041* | 1,01 | 0,10 | 0,91 | <0,001* |
| TR_TMTB | -1,63 | 1,19 | -0,23 | 0,19 | 0,34 | 0,09 | 0,63 | 0,001* |

ETUDE DE LA VARIABILITE INTRA-INDIVIDUELLE DU CONTROLE COGNITIF CHEZ LA PERSONNE AGEE : FORMES ET APPORT PREDICTIF

Les recherches sur le vieillissement ont montré que la variabilité intra-individuelle (VII) du fonctionnement cognitif (dispersion et inconsistance) augmente avec l'âge. La VII pourrait jouer un rôle central dans la compréhension des changements cognitifs observés chez la personne âgée. Le but de cette recherche a été d'évaluer l'apport de la VII pour expliquer les différences d'efficacité cognitive entre personnes âgées. Les relations entre deux formes de VII, dispersion (VII des scores entre plusieurs tests cognitifs) et inconsistance (VII des temps de réponse (TR) entre les essais à une tâche de contrôle cognitif), et l'efficacité cognitive, ont été évaluées auprès d'un groupe d'adultes âgés de 61 ans et plus. La tâche de contrôle AX-cpt utilisée dans cette étude permet l'évaluation de processus de contrôle cognitif distincts (contrôle réactif et contrôle proactif). L'augmentation de la dispersion était associée à une diminution de la vitesse de traitement, de la capacité de la mémoire épisodique et de l'état cognitif plus général. L'augmentation de l'inconsistance semble traduire une difficulté supérieure associée à des capacités de maintien de l'information contextuelle et de résistance à l'interférence moins préservées. Toutefois, l'inconsistance pourrait exprimer une évolution positive de la cognition. Les fluctuations intra-individuelles du comportement paraissent être les caractéristiques d'un fonctionnement normal. L'irrégularité de l'instabilité temporelle des TR aux essais successifs d'une même tâche semble être un indicateur pertinent dans l'étude de la VII pour rendre compte d'une diminution de l'efficacité cognitive. L'étude de la VII de la performance semble donc être une approche fructueuse pour expliquer la variabilité interindividuelle chez la personne âgée et prédire d'éventuels changements cognitifs.

Mots clés : Contrôle cognitif, vieillissement, variabilité intra-individuelle, dispersion, inconsistance.

INTRAINDIVIDUAL VARIABILITY OF COGNITIVE CONTROL IN OLDER ADULTS : TYPES AND PREDICTIVE OUTCOME

Aging research shows an age-related increase in intraindividual variability in cognitive functioning (dispersion and inconsistency). Intraindividual variability would play a central role in understanding cognitive changes in older adults. The purpose of the present research was to examine the contribution of the intraindividual variability study, in order to explain differences in cognitive efficiency between older adults. The relationship between two forms of intraindividual variability, dispersion (variability in scores across several cognitive tests) and inconsistency (variability in response time (RT) across trials in a cognitive control task), and the cognitive efficiency, was estimated in a sample of adults aged from 61 years and older. The control task AX-cpt used in this study allows the evaluation of distinct cognitive control process (proactive and reactive control). The increase in dispersion was associated with a decrease in processing speed, episodic memory ability and the more general cognitive state. The increase in inconsistency seems related to a difficulty of a cognitive system whose capacities of context information maintenance, and resistance to interference, are less preserved. However, the inconsistency could also reveal a positive evolution of cognition. Intraindividual fluctuations in behavior appear to be the characteristics of normal functioning. The irregularity of temporal instability of successive trials response times, seems to be a valid cue of the decrease in cognitive efficiency. The study of intraindividual variability in performance seems to be a fruitful approach to explain the variability between individuals observed in the elderly, and to predict possible cognitive changes.

Keywords: Cognitive control, aging, intraindividual variability, dispersion, inconsistency.

Discipline : Psychologie cognitive et différentielle

CRPCC - Centre de Recherches en Psychologie, Cognition et Communication -EA 1285

UNIVERSITE RENNES 2- Place du recteur Henri Le Moal - CS 24307- 35043 Rennes cedex