



Étude de normalisation du Color Trails Test auprès d'une population adulte saine, franco-québécoise et âgée de 50 ans ou plus

Mémoire doctoral

Anne-Sophie Gaudreau

Doctorat en psychologie
Docteure en psychologie (D. Psy.)

Québec, Canada

Étude de normalisation du Color Trails Test auprès d'une population adulte saine, franco-qubécoise et âgée de 50 ans ou plus

Mémoire doctoral

Anne-Sophie Gaudreau

Sous la direction de :

Carol Hudon, directeur de recherche

Résumé

Les résultats aux tests neuropsychologiques doivent être interprétés en fonction de normes adéquates représentant un groupe de personnes saines ayant des caractéristiques démographiques relativement homogènes. Sans l'existence de normes pour un test donné, l'interprétation des scores obtenus s'avère assez difficile. Il existe une influence non négligeable des facteurs sociodémographiques et de la culture sur la performance des sujets aux tests. En effet, les études ont rapporté un biais culturel pouvant être objectivé par des différences de performance (temps de complétion d'une tâche) selon les ethnies et cultures. Ce mémoire doctoral a comme objectif principal de produire un standard normatif pour le test neuropsychologique *Color Trails Test* (CTT) chez une population de franco-québécois cognitivement sains de 50 ans et plus. Cette étude permet de mettre en lumière une association entre l'âge et le temps de complétion au CTT temps de complétion 1 (CTT1) et CTT temps de complétion 2 (CTT2) ainsi qu'avec certains scores d'erreur et l'index d'interférence. L'incidence négative de l'âge est conforme aux résultats d'études antérieures. Par ailleurs, l'âge explique une plus grande proportion de la variabilité des performances dans la portion CTT2 que dans la portion CTT1 du test. Ces différences sont interprétées en relation avec le fait que CTT2 est plus exigeant en termes de capacités attentionnelles et exécutives. De plus, les résultats indiquent une association marginalement significative avec l'éducation au CTT1, mais pas au CTT2. Finalement, aucune association n'est relevée entre le CTT1 ou CTT2 et le sexe. Compte tenu de la nécessité de tests standardisés dans le travail du neuropsychologue, ainsi que de l'applicabilité transculturelle potentielle du CTT, il est envisagé que la normalisation de cet outil sera utile aux cliniciens et chercheurs québécois. La normalisation du CTT permettra donc d'obtenir des évaluations et des interprétations plus précises des résultats au test chez les adultes et personnes âgées franco-québécoises. Dans l'ensemble, cette recherche compense l'absence de données normatives pour le CTT auprès d'une population adulte et âgée franco-québécoise.

Abstract

Neuropsychological test results should be interpreted against appropriate standards representing a group of healthy people with similar demographic characteristics. Without the existence of standards for a given test, interpreting cognitive scores is quite difficult. There is also a significant influence of socio-demographic factors and culture on the neuropsychological tests' performance. Indeed, studies have reported a cultural bias that can be objectified by differences in performance (completion time) according to ethnic groups and cultures. The main objective of this doctoral work was to provide a normative standard for the neuropsychological Color Trails Test (CTT) in a population of cognitively healthy French-Quebecers aged 50 and over. This study revealed an association between age and completion time at CTT completion time 1 (CCT1) and CTT completion time 2 (CTT2) as well as with certain error partitions and the interference index. The impact of age on cognitive tests is consistent with the results of previous studies. Also, age explained a greater proportion of performance variance in CTT2 than in CTT1. These differences could be interpreted in relation to the fact that the CTT1 is less demanding at the cognitive level and that the CTT2 is more demanding in terms of attentional and executive capacities. In addition, the results indicate a marginally significant association with education at CTT1, but not with CTT2. Finally, no association was found between CTT1 or CTT2 and sex. Given the need for standardized normalized tests, as well as the potential cross-cultural applicability of CTT, it is envisioned that the normalization of this tool will be useful to Quebec clinicians and researchers. The present findings will make it possible to obtain more precise evaluations and interpretations of CTT test results among adults and elderly people in Quebec. In sum, this research compensates for the lack of normative data for the CTT in the adult and elderly population in Quebec.

Table des matières

<i>Résumé</i>	<i>ii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iii</i>
<i>Table des matières</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>vi</i>
<i>Liste des abréviations, sigles, acronymes</i>	<i>vii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>viii</i>
<i>Avant-propos</i>	<i>x</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
1.1 Standard normatif	2
1.2 Limites du standard normatif	4
1.3 Contexte historique	6
1.3.1 Trail Making Test	6
1.3.2 Color Trails Test.....	7
1.4 Fonctions cognitives et vieillissement	9
1.5 Populations cliniques	10
1.6 Influence des variables sociodémographiques	13
1.7 Influence de la culture	14
1.8 Études normatives	16
1.8.1 Normes originales.....	16
1.8.2 Normes de différentes cultures	16
1.9 Résumé	21
1.10 Objectif et hypothèse	21
<i>Chapitre 1: Article</i>	<i>22</i>
Résumé	23
Abstract	24
Introduction	25
Aims and Hypotheses	28
Methods	28
Participants	28
Materials and Procedures	29

Statistical Analyses.....	30
Results	31
Participants' characteristics.....	31
Discussion.....	33
Strengths and Limitations.....	36
Conclusion	39
References	46
<i>Discussion générale.....</i>	<i>51</i>
Retour sur l'étude : méthodologie.....	51
Retour sur l'étude : principaux résultats et interprétations.....	52
Forces et limites.....	55
Contributions scientifiques et cliniques	62
Conclusion	64
<i>Bibliographie.....</i>	<i>65</i>
<i>Annexe A - Questionnaires pour évaluer la plainte cognitive subjective-Révisé (QEDCS-R)</i>	<i>72</i>

Liste des tableaux

Tableau

<i>Table 1.</i> Demographics of participants in the normative sample ($n = 169$).....	40
<i>Table 2.</i> Coefficients for multiple linear regression analyses for CTT measures..	41
<i>Table 3.</i> Normative equations to calculate corrected Z-scores for age, education, and sex for CTT1 and CTT2 ($n = 169$).....	42
<i>Table 4.</i> Percentiles for error scores ($n = 169$).....	43
<i>Table 5.</i> Percentiles for error scores stratified for age ($n = 169$).....	44
<i>Table 6.</i> Percentiles for error scores stratified for age and years of education ($n = 169$).....	45

Liste des abréviations, sigles, acronymes

AVC : Accident vasculaire cérébral
CLSC : Centres locaux de services communautaires
CTT: *Color Trails Test*
CTT1: *Color Trails Test* temps de complétion 1
CTT2 : *Color Trails Test* temps de complétion 2
ÉT : Écart-type
GMF : Groupes de médecine de famille
M: Moyenne
MCI: Mild cognitive impairment
OMS : Organisation mondiale de la Santé
TCL: Trouble neurocognitif léger
TMT: *Trail Making Test*
VIH: Virus d'immunodéficience humaine

Remerciements

Ce mémoire doctoral est l'aboutissement d'efforts soutenus et l'implication de plusieurs personnes mérite d'être soulignée. Tout d'abord, j'aimerais remercier mon directeur de recherche, Carol Hudon, sans qui le présent mémoire doctoral n'aurait pu voir le jour. Merci de m'avoir accueilli au sein de ton laboratoire et de m'avoir pris sous ton aile. Tu as toujours su être disponible, flexible et d'une grande écoute. Ton encadrement et ta rigueur de travail m'ont permis de dépasser mes limites et m'ont aidé à bâtir un projet au-delà de mes attentes. Merci de m'avoir permis de faire partie de la belle équipe qu'est le laboratoire sur le vieillissement. Tu as su m'impliquer auprès de plusieurs opportunités qui m'ont permis de développer mes compétences en recherche et comme future clinicienne. Je t'en serai toujours reconnaissante. Il m'importe aussi de souligner l'implication de l'ensemble des membres de l'équipe de laboratoire de monsieur Hudon dans ce projet. Ce projet n'aurait pu aboutir sans leur effort constant et leur dévouement. Votre appui jusqu'à la toute fin a été de la plus haute importance.

Je tiens également à remercier madame Caroline Cellard, Ph.D., pour son rôle au sein de mon comité d'encadrement. Tes précieux conseils ont su alimenter ma réflexion afin d'élever ce projet à un autre niveau. Merci pour tout le temps accordé à la bonification de ce projet. Tes mots encouragements m'ont également permis de consolider ma confiance en mes compétences et en la réalisation de ce projet.

Un énorme merci à mes précieuses amies et collègues de travail, Sophie-Émilie, Camille, Amaryllis et Mireille, sans qui ce parcours doctoral aurait certainement été plus ardu. Vous avez su me comprendre à travers ce cheminement stressant qu'est le doctorat. Nous avons pu partager ensemble nos moments d'angoisses, mais aussi nos plus grands accomplissements. Merci les filles.

Finalement, j'aimerais remercier sincèrement toutes ces personnes qui de près ou de loin m'ont aidée dans l'accomplissement de cette longue aventure. À mes grandes amies, merci de m'avoir supportée, écoutée et de m'avoir offert ces précieux moments de rires et de détente. Je tiens également à remercier ma famille, qui a su m'encourager et me motiver

à toujours aller plus loin et dépasser mes limites. Un merci spécial à mon amoureux, ami et confident. Tu as été mon pilier à travers toutes ces années. Je te remercie d'être resté à mes côtés et de m'avoir épaulée autant dans les moments plus difficiles que dans mes succès.

Avant-propos

Le présent mémoire doctoral a été réalisé conformément aux exigences du programme de doctorat en psychologie (D.Psy) de l'École de psychologie de l'Université Laval et sous la supervision de monsieur Carol Hudon (Ph.D.) professeur titulaire de l'Université Laval à l'École de psychologie. La réalisation de ce projet de recherche s'est effectuée dans le Laboratoire de neuropsychologie du vieillissement situé au Centre de recherche CERVO du Centre intégré universitaire en santé et services sociaux de la Capitale-Nationale.

L'introduction générale a pour but de détailler l'état actuel des connaissances sur les données normatives du Color Trails Test ainsi que des éléments entourant la pertinence de produire une étude normative auprès de la population franco-québécoise. Elle permet également d'exposer les objectifs de ce travail de recherche. L'article scientifique intitulé: « Normative Data for the Color Trails Test in Middle-Aged and Elderly Quebec-French People » a été rédigé dans le cadre de ce mémoire doctoral. Le présent article a été soumis le 22 février 2022 dans le journal *Aging, Neuropsychology and Cognition*. Il est à noter que je suis l'auteure principale de cet article en collaboration avec les co-auteurs, Carol Hudon et Joël Macoir. J'ai rédigé l'entièreté de l'article et chaque co-auteur en a fait la correction. Enfin, la troisième section comprend la discussion générale du mémoire doctoral. Cette section permet d'élaborer les pistes de réflexion en lien avec les résultats de ce travail de recherche. Les forces, les limites, les implications théoriques et cliniques ainsi que des pistes de recherche dans le domaine y sont proposées.

Introduction générale

L'utilisation des tests standardisés en neuropsychologie clinique permet d'établir un profil du fonctionnement cognitif d'une personne. À cet effet, un grand nombre de tests sont maintenant disponibles pour les neuropsychologues cliniciens. Mais dans le domaine de la neuropsychologie clinique, la sélection du test le plus approprié n'assure pas l'exactitude de la compréhension du profil cognitif du client (Mitrushina, 2005). Certes, l'examen des types d'erreurs et des mécanismes de réponse révèle beaucoup d'informations sur les processus cognitifs atteints chez un individu. Mais sans l'existence de normes pour un test donné, l'interprétation des scores obtenus s'avère assez difficile. Les résultats aux tests neuropsychologiques doivent idéalement être interprétés en fonction de normes adéquates représentant un groupe de personnes saines ayant des caractéristiques démographiques relativement similaires (Mitrushina, 2005). Il est possible d'observer que selon la norme choisie, l'interprétation de la performance d'un même individu peut différer significativement (Messinis, Christodoulou, Panagiotopoulos, & Papathanasopoulos, 2011). Ces auteurs ont comparé la performance au *Color Trails Test (CTT)* d'un adulte en bonne santé en utilisant les tables normatives d'une personne âgée entre 45 et 59 ans ayant un niveau de scolarité entre 9 et 11 ans. Ainsi, en utilisant les normes américaines, un temps de complétion de 55 secondes pour le CTT1 et de 122 secondes pour le CTT2, la performance classe le sujet au 34^e centile (D'Elia, Satz, Uchiyama, & White, 1996). En revanche, en utilisant les normes grecques, les mêmes temps de complétion placeraient la performance au 50^e centile (c'est-à-dire une performance relativement meilleure) (Messinis et al., 2011). En utilisant des normes ne représentant pas une population ou une culture spécifique, il peut en résulter un diagnostic erroné et l'implantation d'un traitement non nécessaire. À l'inverse, selon les normes choisies, un individu peut également avoir une meilleure performance que ce qu'il devrait, empêchant ici le diagnostic d'une pathologie probable. Malheureusement, il est à noter qu'un nombre insuffisant de tests ont fait l'objet d'une validation et d'une normalisation, et ce particulièrement chez les populations âgées et les groupes minoritaires (Amieva, Belin, & Maillet, 2016; Mitrushina, 2005). Cela est d'autant plus vrai pour la population québécoise. Les études de normalisation des tests neuropsychologiques chez une population adulte et âgée francophone du Québec sont d'une haute importance afin de faciliter le processus d'interprétation des données brutes. Elles

sont également au cœur du travail de neuropsychologue et ajoutent davantage de crédibilité de la profession.

1.1 Standard normatif

Le score obtenu lors de la passation d'un test neuropsychologique est une estimation quantitative du processus cognitif évalué. En ce sens, lorsque le clinicien veut interpréter cette donnée, il utilise un échantillon de normalisation (Amieva et al., 2016). Une stratégie d'échantillonnage basée sur des critères d'exclusion assez restrictifs permet d'obtenir un échantillon de normalisation auprès d'une population saine. Le but étant d'avoir un échantillon normatif formé à partir de participants qui ne sont pas affectés par une quelconque condition qui pourrait potentiellement induire un déficit cognitif. L'administration, la cotation ainsi que l'interprétation des tests neuropsychologiques sont des sources d'information importantes dans la pratique clinique afin de prendre une décision concernant les capacités cognitives d'un client. Un score brut en soi ne permet pas d'apprécier la performance d'un individu à un test. Le score doit être transformé (étalonné) de façon à connaître la position d'une personne par rapport aux personnes de l'échantillon normatif (Laveault, Grégoire, & Grégoire, 2014; Mitrushina, 2005). D'ailleurs, les scores transformés les plus utilisés pour les normes d'un test sont les rangs centiles, le score Z, le score T et la régression. D'abord et avant tout, le choix de l'indicateur normatif le plus approprié repose sur la nature de la distribution des scores à un test (Amieva et al., 2016). Dans le cas d'une distribution asymétrique, la littérature démontre qu'il est préférable d'utiliser une méthode de normalisation basée sur les rangs centiles (Hogan, Parent, & Stephenson, 2017; Strauss, Spreen, & Sherman, 2006). Les rangs centiles sont couramment utilisés pour décrire les performances en neuropsychologie (Hogan et al., 2017). Ils nous renseignent sur la proportion des personnes du groupe de référence qui se situent sous un score donné. Cette méthode découpe toutes les valeurs en ordre croissant de l'échantillon en 100 classes contenant le même nombre d'observations. Chaque centile représente donc 1% de l'échantillon. Il permet d'indiquer la proportion déterminée de la population qui précède ce score et une proportion déterminée qui suit cette valeur (Arguet & Capel, 2018). Comme l'utilisation des rangs centiles n'est pas dépendante

du type de distribution, ils peuvent être largement adaptables et applicables à divers tests neuropsychologiques. Ils sont également faciles à comprendre et à calculer (Arguet & Capel, 2018). En raison de leurs caractéristiques, ils permettent seulement d'indiquer la position ordinale de la performance de l'individu dans la distribution (Mitrushina, 2005). Il s'agit donc d'un score de position relative à un groupe. Il est alors plus problématique de comparer les individus entre eux alors que les rangs centiles nous renseignent sur le rang et non sur les écarts entre les individus (Laveault et al., 2014). De ce fait, une alternative serait d'utiliser les scores standards pour illustrer cet écart. La standardisation des scores bruts permet de comparer la performance d'un individu à travers différents tests, et ce, malgré les différences dans les échelles de mesure des tests neuropsychologiques (Amieva et al., 2016; Mitrushina, 2005). Il existe plusieurs types d'indices standards qui diffèrent quant à la moyenne et l'écart-type choisis et quant à leur méthode de calcul (transformation linéaire). Lorsque la distribution des scores est proche de la normale, le clinicien est encouragé à calculer un score Z ($M=0$ $ÉT=1$) (Hogan et al., 2017). En clinique, la transformation des notes brutes en score z est une des pratiques les plus fréquentes (Amieva, Michael, & Allain, 2011). Le score Z montre non seulement dans quelle mesure la performance d'un individu s'écarte de la moyenne de l'échantillon, mais également la probabilité que d'autres personnes dans l'échantillon obtiennent des scores aussi élevés ou aussi bas que la personne testée (Hogan et al., 2017; Mitrushina, 2005). Ainsi, le score Z permet entre autres de se positionner par rapport à la moyenne de la distribution et de calculer le pourcentage des observations contenues entre n'importe quelles valeurs Z. À partir du score Z, il est possible d'utiliser un seuil (« cut-off score ») afin de classer un résultat comme étant normal ou pathologique (Arguet & Capel, 2018; Mitrushina, 2005). Ainsi, une cote se situant à moins de -1,65 écart-type (ÉT) sous la moyenne de l'échantillon de référence est considérée anormale et est généralement cliniquement significative (Lezak, Howieson, Loring, Hannay, & Fischer, 2004). Une cote se situant entre -1,0 et -1,5 ÉT suggère plutôt un déficit cognitif léger. Cependant, la conversion de scores bruts en score Z est basée sur la supposition d'une distribution normale des scores dans l'échantillon. Si toutefois la distribution des scores ne suit pas la loi normale, l'utilisation du score Z est inappropriée (Arguet & Capel, 2018). De fait, l'utilisation de scores Z dans une distribution asymétrique augmente considérablement le risque de faux positifs, c'est-à-dire de conclure que la

performance du patient est pathologique alors que ce n'est pas le cas. En effet, lorsque la distribution est asymétrique, les scores z n'expriment plus les proportions indiquées dans la table de probabilité de la loi normale (Arguet & Capel, 2018). Une transformation linéaire peut être utilisée afin de produire d'autres scores standardisés, tels que le score T ($M=50$, $ÉT=10$) et les scores de Wechsler (QI ; $M=100$, $ÉT=15$ et $M=10$, $ÉT=3$) (Strauss et al., 2006). Cette transformation permet de préserver la forme de la distribution et la distance relative entre les scores. Le score T a pour avantage de ne jamais donner de valeur négative. Il permet également d'avoir une plus grande étendue sans recourir aux décimales. La norme à un test peut aussi s'exprimer sous la forme d'une équation de régression qui tient compte du poids des variables sociodémographiques ayant une influence sur la performance au test (Amieva et al., 2016). Il faut toutefois noter que certaines conditions d'application d'une régression linéaire doivent être respectées, entre autres que les données se distribuent normalement. D'ailleurs, un avantage de la régression est qu'elle tient compte du processus continu des variables à l'étude (âge et éducation) (Oosterhuis, van der Ark, & Sijtsma, 2016) ainsi que des processus cognitifs.

1.2 Limites du standard normatif

Plusieurs limites peuvent être identifiées lorsqu'il est question de l'utilisation du standard normatif. Tout d'abord, il importe de se questionner quant à la date et le pays dans lequel les normes ont été produites. Malheureusement, il n'est pas rare de voir que certains cliniciens utilisent des tests traduits et non normés pour situer, par exemple, la performance d'un Québécois sur la base de normes américaines (Arguet & Capel, 2018). Or, calculer un score Z à partir de normes issues d'un autre pays ou d'une autre culture peut limiter l'interprétation des données (Amieva et al., 2011). Également, l'utilisation de normes désuètes peut engendrer d'importants problèmes quant à l'interprétation des performances (Dickinson & Hiscock, 2011). Une étude a d'ailleurs conclu à une amélioration des capacités cognitive de génération en génération alors que les personnes âgées d'aujourd'hui présenteraient de meilleures performances cognitives que des personnes du même âge appartenant aux précédentes générations (Trahan, Stuebing, Fletcher, & Hiscock, 2014). Ce phénomène de cohorte appelé « l'effet Flynn » réfère à l'augmentation au fil du temps des

scores aux tests d'intelligence (Flynn, 1984; Trahan et al., 2014). Également, la représentativité de l'échantillon normatif appelle également à être prudent lors de l'interprétation des scores. En effet, il arrive souvent que l'échantillon normatif soit construit à partir de participants qui se portent volontaires. Cela peut faire en sorte qu'ils ont des profils plus particuliers et qu'ils sont plus favorisés sur le plan culturel et cognitif (Amieva et al., 2011). De ce fait, lorsque qu'une personne ne prend pas en compte comment les normes ont été élaborées ou qu'il doute de leur pertinence au regard du profil de son client, il s'expose à des erreurs d'interprétation pouvant créer des faux positifs ou des faux négatifs (Arguet & Capel, 2018). Les cliniciens doivent aussi être conscients des faux positifs associés aux différents scores seuil des scores Z et centiles. Le 10^e rang centile est également souvent utilisé comme score seuil d'un déficit cognitif léger et entraînerait un taux de faux positif de 10% (Amieva et al., 2016). Il est alors de mise que les cliniciens interprètent les scores aux tests en s'appuyant sur plusieurs informations différentes pour converger vers un diagnostic. D'ailleurs, certains auteurs relèvent un manque d'homogénéité dans l'utilisation des libellés descriptifs lors de l'interprétation des scores aux tests. À cet effet, de nouvelles recommandations ont été émises à ce sujet (Guilmette, 2020). Les auteurs du consensus américain suggèrent l'utilisation de libellés descriptifs plus nuancés. Ils proposent alors de situer la performance d'un individu sur la courbe de distribution normale en termes de fréquence des performances aux tests et non en termes de pathologie. Par exemple, en tenant compte du nouveau consensus, une performance *extrêmement faible* serait maintenant décrite comme une performance *exceptionnellement faible*. Ce libellé descriptif reflète ainsi la fréquence peu commune de ce score auprès de la population et se retrouve dans les extrémités de la courbe. Ce consensus se veut une tentative d'homogénéiser la pratique en neuropsychologie et permettrait de mieux décrire la performance d'un individu au test. Cet article met en lumière l'importance que tous lecteurs d'un rapport neuropsychologique soient familiarisés à cette problématique de classification des résultats. Cette situation nuit non seulement à la transparence, mais aussi à la fonction première d'un rapport, c'est-à-dire la communication et la documentation.

En résumé, l'utilisation de normes doit permettre aux neuropsychologues cliniciens de formuler de meilleures interprétations des performances de leurs clients. Pour ce faire, il importe tout d'abord de choisir le standard le plus adapté à la distribution des scores dans l'échantillon normatif et les données normatives les plus adaptées à la culture du client. De plus, il est important de garder en tête que le score à un test ne peut être pris en compte seul et doit toujours être perçu comme un appui à une impression clinique qui se doit d'être objectivée et quantifiée par plusieurs autres scores. Finalement, il importe d'homogénéiser la façon dont les neuropsychologues décrivent les performances aux tests afin d'établir de meilleures pratiques cliniques.

1.3 Contexte historique

1.3.1 Trail Making Test. En raison de leur facilité d'administration et de leur sensibilité aux lésions cérébrales, les tâches neuropsychologiques de type Trail Making sont parmi celles les plus largement utilisées dans la recherche et la pratique clinique (Lezak et al., 2004). La tâche du Trail Making Test (TMT) se fait en deux temps. Le Trail A consiste à relier, sur une feuille, les cercles numérotés de 1 à 25 dans l'ordre croissant le plus rapidement possible. Dans le Trail B, le sujet doit relier les cercles en alternant entre les chiffres (1-13) et les lettres (A-L) tout en conservant l'ordre croissant et alphabétique (ex. : 1-A-2-B-3-C, etc.). Le temps de complétion de la tâche est mesuré pour les deux, ainsi que les erreurs d'alternance entre les chiffres et les lettres (Seron & Van der Linden, 2014). Le Trail Making Test (Reitan & Wolfson, 1993), originalement développé en 1938 par John Partington comme un sous test faisant partie du *Leiter-Partington Adult Performance Scale* (Partington & Leiter, 1949), permet entre autres l'évaluation de la flexibilité cognitive, la vitesse psychomotrice et de certaines capacités attentionnelles, dont l'attention sélective et le balayage visuel (Lezak et al., 2004; Strauss et al., 2006). Cependant, les stimuli du TMT sont basés sur les lettres de l'alphabet latin (ou roman) et anglo-saxon, limitant grandement son utilisation dans les pays/régions dont cet alphabet n'est pas en vigueur. Cette différence entre les cultures peut avoir une influence sur la performance du TMT, particulièrement en raison de sa dépendance à l'égard de la connaissance de l'alphabet lors de la tâche d'alternance Partie B (D'Elia et al., 1996). D'ailleurs, une moins bonne performance à la

Partie B du Trail Making Test est souvent associée à un manque de familiarité de l'alphabet, notamment chez une clientèle illettrée, détenant une faible scolarité, de même que les clients ayant un trouble du langage ou de lecture (D'Elia et al., 1996; Mitrushina, 2005). Par conséquent, le TMT peut induire certains biais lors de l'évaluation neuropsychologique quant à ses propriétés culturelles et linguistiques, illustrant ainsi la nécessité d'utiliser un test prenant en compte ces limitations.

1.3.2 Color Trails Test. Le *Color Trails Test* (D'Elia et al., 1996) a originalement été développé en réponse à une requête de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), en 1990, lors d'un comité d'étude sur les déficits cognitifs associés au virus d'immunodéficience humaine (VIH) dans différentes cultures. Le comité appelait notamment au développement d'instruments neuropsychologiques adaptés au contexte interculturel. Le CTT est donc une version conçue à partir du Trail Making Test. Comme le TMT, le CTT est administré en deux temps soit le CTT1 qui correspond à relier les cercles numérotés dans l'ordre de 1 à 25 et le CTT2, représentant la tâche d'alternance où le participant doit s'assurer de relier les cercles en ordre croissant tout en alternant entre la couleur jaune et rose (D'Elia et al., 1996). Les stimuli utilisés dans le CTT2 diffèrent donc de ceux du TMT Partie B en remplaçant l'alternance entre les lettres de l'alphabet et les chiffres par l'alternance de couleurs. Contrairement à l'alphabet, les couleurs et les chiffres sont des symboles universels transcendant la plupart des cultures. Une première étude pilote interculturelle sur le CTT a été réalisée en 1991 et les auteurs ont démontré que même des individus habitant dans un pays pauvre et ayant très peu d'éducation savent et reconnaissent les chiffres arabiques de 1 à 25 (Maj et al., 1991). Ainsi, même chez une clientèle peu privilégiée au niveau sociodémographique, cette tâche serait valide. Également, l'hypothèse a été émise selon laquelle l'alternance entre les chiffres et les couleurs dans la tâche CTT2 demanderait plus de capacités exécutives compte tenu de la séquence surapprise de l'alphabet dans la Partie B du TMT (D'Elia et al., 1996; Mitrushina, 2005). Dans un même ordre d'idée, comme la plupart des gens apprennent à réciter et même chanter l'alphabet à un très jeune âge, ce dernier est profondément encodé dans la mémoire. Par conséquent, un individu ayant un haut niveau de fonctionnement prémorbide

présentant une lésion cérébrale légère à modérée, pourrait être en mesure de compléter le TMT A et B dans les limites de temps requises et sans trop faire d'erreurs. En revanche, cela pourrait ne pas être le cas dans le CTT, car ce test semble plus sensible à des altérations subtiles du fonctionnement exécutif (Mitrushina, 2005). Le CTT comporte aussi de nouvelles mesures, notamment la « presque erreur ». Lors de la passation du test, le clinicien doit noter quand le participant semble attiré par un distracteur, mais inhibe sa réponse avant de commettre une erreur (ex. : se corrige avant d'établir la mauvaise connexion avec un cercle distracteur). Également, le CTT introduit la cotation d'erreurs de style « amorçage », qui sont définies comme étant le nombre de fois que le clinicien doit indiquer le prochain bon cercle à relier après que le participant n'ait pas initié un tracé pendant plus de 10 secondes. Il est à noter que ces données doivent faire l'objet d'une analyse qualitative, car elles ne semblent pas avoir de valeur discriminante entre les sujets sains et pathologiques (D'Elia et al., 1996). L'étude des types d'erreurs peut seulement bonifier l'interprétation du fonctionnement cognitif. Un index d'interférence est aussi calculé dans le but de quantifier la différence quant à l'influence respective de l'attention visuelle et de la poursuite visuelle du CTT1 comparativement à l'attention divisée et la flexibilité mesurée dans le CTT2 (D'Elia et al., 1996; Mitrushina, 2005). L'index d'interférence a été défini comme la différence de temps total de la performance (CTT2 - CTT1) divisée par le temps total de passation du CTT1. Ainsi, l'index d'interférence reflète la comparaison de la performance du participant au CTT2 à l'égard de celle au CTT1.

Le CTT présente plusieurs qualités psychométriques qui permettent de bonifier la compréhension des profils cognitifs lors de l'évaluation neuropsychologique. La notion de fidélité permet d'identifier dans quelle mesure un test peut donner les mêmes résultats, peu importe le moment où il est appliqué (Bernaud, 2007). La fidélité test-retest, qui apprécie la constance des résultats dans le temps, est excellente en ce qui concerne le CTT2 ($r=0,79$) et adéquate au CTT1 ($r=0,64$) (D'Elia et al., 1996). Plusieurs études ont démontré la validité du CTT et donc le degré avec lequel il mesure ce qu'il est destiné à mesurer (Bernaud, 2007). Messini et al. (2011) ont d'ailleurs réalisé une étude de validité critériée auprès de personnes atteintes de Parkinson et ayant eu un AVC. Ces populations cliniques ont

d'ailleurs été choisies en raison du fait qu'ils présentent généralement des déficits dans les domaines cognitifs examinés par le CTT. Ainsi, le CTT démontre une bonne sensibilité à distinguer les échantillons cliniques des échantillons normaux. En ce qui concerne la validité convergente entre le TMT et le CTT, les auteurs ont également trouvé des corrélations positives significatives et élevées entre le temps de réalisation des deux tests pour les deux parties (Messinis et al., 2011). D'ailleurs, le CTT aurait également une bonne validité convergente avec le test neuropsychologique UFOV, utilisé principalement lors de l'évaluation de la conduite automobile (Hartman-Maeir, Bar-Haim Erez, Ratzon, Mattatia, & Weiss, 2008). Par conséquent, le CTT peut être un outil intéressant et valide auprès d'évaluation neuropsychologique dans un contexte de conduite automobile dans la mesure où le UFOV n'est souvent pas disponible dans les milieux cliniques. La validité de construit a également été objectivée auprès de populations saines, atteintes de traumatisme crânien ou ayant une schizophrénie. L'analyse factorielle (facteur 1 = vitesse balayage visuelle; facteur 2 = flexibilité cognitive indépendante de la vitesse de traitement; facteur 3 = inattention et impulsivité; facteur 4 = inattention) a permis d'observer que les variables d'erreurs et de « amorçage » pourraient exploiter des facteurs dissociables de ceux basés sur les variables de temps (D'Elia et al., 1996; Tyburski et al., 2020). En outre, ces variables peuvent offrir une autre interprétation des performances quant à la vitesse versus la précision de la performance. Ainsi, les participants peuvent tenter d'augmenter leur vitesse au détriment des erreurs commises, ou de réduire le nombre d'erreurs au détriment des scores de temps élevés.

1.4 Fonctions cognitives et vieillissement

Le CTT évalue principalement les capacités de flexibilité réactive, la vitesse psychomotrice et de traitement de l'information, le balayage visuel, et l'attention sélective (Strauss et al., 2006). Il est maintenant bien reconnu qu'il existe avec le vieillissement normal du cerveau un déclin cognitif qui est progressif et qui touche plusieurs capacités mentales (Drachman, 2006; Finch, 2009; Salthouse, 2009). D'ailleurs, les domaines cognitifs les plus sensibles au vieillissement se situent au niveau des capacités dites fluides. Une diminution de la vitesse de traitement de l'information est observée avec le

vieillesse normale et celle-ci peut être objectivée au CTT par un ralentissement de la performance avec l'âge. Également, en vieillissant les fonctions exécutives d'une personne subissent des changements et, plus particulièrement, une diminution des mécanismes d'inhibition (McPherson & Koltai, 2018). Par conséquent, un individu aura certaines difficultés à diriger un comportement, inhiber les comportements automatiques et concevoir des stratégies alternatives. Comparativement aux personnes plus jeunes, les aînés auraient une moins bonne performance aux tâches d'efficacité exécutive (Salthouse, 2010). Par ailleurs, il n'est pas surprenant que les capacités attentionnelles subissent aussi une diminution de leur efficacité avec l'âge. En somme, la réalité inhérente au fonctionnement cognitif des aînés appuie d'autant plus la pertinence de tests neuropsychologiques normés pour faciliter la différenciation entre un vieillissement normal et pathologique.

1.5 Populations cliniques

Depuis son développement, le CTT s'est révélé sensible pour détecter les déficits dans différentes populations cliniques neurologiques et psychiatriques (D'Elia et al., 1996; Elkin-Frankston, Lebowitz, Kapust, Hollis, & O'Connor, 2007; Hartman-Maeir et al., 2008; Lee & Cheung, 2005; Liu, Chan, Lee, & Hui-Chan, 2004; Maj et al., 1993; McGuinness, Barrett, Craig, Lawson, & Passmore, 2010; Messinis et al., 2011; Narasimhalu et al., 2010; Sacktor et al., 2009; Wright et al., 2008). D'abord, le CTT est sensible à la détection de déficits cognitifs associés à des séropositifs pour le VIH (Maj et al., 1993; Sacktor et al., 2009). Il est à noter qu'une performance déficitaire au CTT1 et encore plus déficitaire au CTT2 a été observée chez cette population clinique. Les mêmes auteurs ont réalisé une étude de plus grande envergure dont les données des participants ont été collectées dans différents pays, soit l'Allemagne, le Zaïre, la Thaïlande, le Brésil et le Kenya (Maj et al., 1994). Une batterie de tests, incluant le CTT, leur a été administrée. Les résultats ont démontré que le CTT2 était la mesure la plus sensible au déficit cognitif de toute la batterie de tests. Cette recherche visait également à encourager davantage la normalisation du CTT dans plusieurs cultures différentes. Le CTT a aussi été étudié chez des patients ayant subi un traumatisme crânien (D'Elia et al., 1996). Les auteurs ont illustré un ralentissement de la performance comparativement aux sujets contrôles au CTT1 et CTT 2. Ils n'ont cependant

trouvé aucune différence entre les deux groupes en ce qui concerne les types d'erreurs commises (« presque erreur », « amorçage ») pendant la tâche. L'étude de Messinis et al. (2011), portant sur des personnes ayant eu un AVC ou étant atteintes du Parkinson, a illustré une différence significative dans le temps de complétion du CTT1 et CTT2 comparativement à un groupe contrôle d'individus cognitivement sains. Dans les deux cas, les sujets sains ont complété le test plus rapidement par rapport aux groupes cliniques. Par ailleurs, le CTT est couramment utilisé chez des personnes ayant subi un AVC, et ce, particulièrement dans un contexte de réadaptation.

Dans l'étude de Liu et al. (2004), le CTT a été administré dans le but d'objectiver les améliorations encourues en cours de traitement de réhabilitation afin de faciliter le réapprentissage de certaines fonctions motrices. Le test a permis d'illustrer une amélioration des capacités attentionnelles et de séquençage des participants qui ont suivi le traitement comparativement au groupe contrôle (Liu et al., 2004). Dans une récente étude examinant les effets de la rivastigmine chez les patients âgés entre 55 et 85 ans atteints de troubles cognitifs dus à une maladie cérébrovasculaire, le CTT a permis d'objectiver une tendance significative à l'amélioration de ces patients par rapport aux performances de base (Narasimhalu et al., 2010). Ces données illustrent une fois de plus le potentiel du test à détecter des changements quant au fonctionnement exécutif ou attentionnel. Les maladies vasculaires sont assez communes chez les personnes âgées et peuvent occasionner des déficits cognitifs d'origine cérébrovasculaire (Wright et al., 2008). Une étude a alors tenté d'évaluer, à l'aide entre autres du CTT, la performance cognitive de participants avec des hyperintensités de la matière blanche ou ayant subi des infarctus silencieux. Les auteurs ont démontré chez les participants une diminution globale de la performance au CTT (Wright et al., 2008). Une récente étude a également illustré l'utilité du CTT chez une population atteinte d'un stade léger à modéré d'Alzheimer ou de démence vasculaire (McGuinness et al., 2010). Les auteurs ont rapporté une performance déficitaire à la tâche CTT1 et CTT2 chez les deux groupes cliniques comparativement au groupe contrôle (McGuinness et al., 2010).

Les tests neuropsychologiques, tels que le TMT, sont souvent utilisés afin d'évaluer les capacités requises pour la reprise de la conduite automobile après avoir subi une lésion cérébrale. Une étude a été réalisée sur des individus atteints d'une lésion cérébrale acquise, incluant ceux ayant fait un accident vasculaire cérébral (AVC), cherchant à récupérer leur permis de conduire (Hartman-Maeir et al., 2008). Les auteurs ont alors tenté d'évaluer l'applicabilité du CTT dans l'évaluation des compétences nécessaires à la conduite automobile chez 30 participants âgés entre 20 et 80 ans (Hartman-Maeir et al., 2008). Hartman-Maeir et al. (2008) ont indiqué que les participants approuvés au test sur la route avaient complété les CTT1 et CTT2 plus rapidement que les individus qui avaient échoué au test de conduite. Ces résultats concordent également avec ceux d'une autre étude qui évalue la conduite automobile chez une population âgée (Elkin-Frankston et al., 2007). En effet, les résultats de cette autre étude ont permis de constater que le CTT était comparable au TMT en tant qu'outil de dépistage des compétences de conduite.

Le CTT est également utilisé chez une population psychiatrique. Lee et Cheung (2005) ont noté que le CTT objectivait des déficits cognitifs chez les patients schizophrènes. Les mêmes résultats ont aussi été observés dans une autre étude (Güleç, Kavakci, Yazici, & Küçükalioglu, 2006), alors que la performance au test du groupe clinique était déficitaire comparativement aux sujets en bonne santé. D'ailleurs, une étude a rapporté une association entre les symptômes négatifs et de désorganisations de la schizophrénie et une diminution du temps de performance ainsi qu'un déficit de flexibilité dans le CTT (Tyburski et al., 2020). De plus, l'association entre les symptômes positifs et un plus haut taux de « presque erreur » indiquerait des difficultés au plan de l'impulsivité. En somme, considérant l'utilité clinique du CTT, il est primordial de développer des normes spécifiques à une population et culture donnée afin d'être en mesure de discriminer, d'évaluer et d'interpréter avec justesse les performances des clients au test.

1.6 Influence des variables sociodémographiques

Les variables sociodémographiques influencent de manière significative les performances aux tests neuropsychologiques. Il est alors important de considérer ces variables lors de l'évaluation neuropsychologique. Ceci est particulièrement important pour les personnes âgées, pour lesquelles l'éducation et les changements de performances liés à l'âge doivent être pris en compte avant de diagnostiquer des déficits cognitifs liés à la maladie (Kudiaki & Aslan, 2008). De très nombreuses études normatives ont examiné les caractéristiques des individus qui influencent significativement leur performance au CTT. L'âge est le facteur qui influence le plus la performance au test, suivi du niveau d'éducation (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Riley, 1998; Hsieh & Tori, 2007; Konstantopoulos, Issidorides, & Spengos, 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue, Romero, Ortiz, Chi Lang, & Lindeman, 1999; Messinis et al., 2011; Pontón et al., 1996; Rabelo et al., 2010; Tavakoli, Berekatain, & Emsaki, 2015; Vogel, Stockholm, & Jørgensen, 2013). Plus précisément, les jeunes participants avec un niveau de scolarisation plus élevé ont de meilleures performances qu'une personne plus âgée avec un faible niveau d'éducation. Ainsi, le vieillissement et un bas niveau d'éducation engendrent une augmentation du temps de complétion autant au CTT1 qu'au CTT2.

L'influence de ces variables sociodémographique contribue significativement aux différences entre les performances de différents groupes d'âge, et ce, plus négativement auprès des 60 ans et plus (Rabelo et al., 2010). Plus précisément, les auteurs d'une étude ont démontré qu'il y avait un changement significatif de la performance avec l'âge à partir de 50 ans pour la performance au CTT1 et 40 ans pour CTT2 (Kudiaki & Aslan, 2008). Ces différences de performance dans les groupes d'âge pourraient être interprétées en lien avec le fait que le CTT1 est moins demandant cognitivement et que le CTT2 est plus exigeant au niveau des capacités attentionnelles et exécutives (Mitrushina, 2005). D'ailleurs, les études examinant l'association entre l'âge et les changements cérébraux (structurels, physiologiques et neuropathologiques) au cours du vieillissement normal concluent que les changements commencent particulièrement après 40 ou 50 ans (Lezak et al., 2004). L'influence de l'âge sur la performance peut être tributaire du fait qu'avec le vieillissement

normal, une diminution de la vitesse psychomotrice et de traitement de l'information est observée (Tavakoli et al., 2015; Vogel et al., 2013). Ce phénomène est aussi reproduit dans les types d'erreurs comptabilisés au CTT. En effet, Kudiaki et Aslan (2008) ont établi que les individus plus âgés produisent plus d'erreurs que les plus jeunes, et ce particulièrement dans les groupes d'âge de 60 à 69 ans et 70 à 100 ans. Quant à la relation entre le sexe des participants et la performance, la majorité des études normatives ont trouvé un effet non significatif de ce facteur sur la performance (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Tori, 2007; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue et al., 1999; Messinis et al., 2011; Pontón et al., 1996; Tavakoli et al., 2015). Une étude seulement a suggéré que les femmes auraient de moins bonnes performances que les hommes (Rabelo et al., 2010).

1.7 Influence de la culture

Le manuel original des données normatives du CTT n'indique pas si l'ethnie influence les scores au test (D'Elia et al., 1996; Strauss et al., 2006). Cependant, même si le test a été développé dans une perspective transculturelle, certaines études tendent à démontrer qu'il existe effectivement des différences entre les performances de différentes cultures, notamment en lien avec le temps de complétion de la tâche (Agranovich & Puente, 2007; Agranovich, Puente, & Touradji, 2011; Hsieh & Riley, 1998; Messinis et al., 2011; Tavakoli et al., 2015; Vogel et al., 2013). Récemment, des données normatives grecques publiées pour les personnes âgées (Messinis et al., 2011) ont illustré une moins bonne performance (plus ralentie) aux CTT1 et CTT2 par rapport aux données d'échantillons normatifs danoises (Vogel et al., 2013) et américaines (D'Elia et al., 1996). Les auteurs ont suggéré que ces différences reflètent probablement le faible niveau d'éducation des personnes âgées grecques (Messinis et al., 2011). En effet, les particularités inhérentes à cette population mettent en évidence que de nombreuses personnes âgées éduquées il y a de cela 40 à 50 ans ont un faible niveau d'éducation (1-9 ans). Plusieurs raisons ont été énumérées, dont le fait qu'elles n'ont pas fréquenté l'école ou l'ont quittée prématurément et qu'elles n'ont pas eu l'opportunité de fréquenter un établissement d'enseignement supérieur (Messinis et al., 2011). Il est aussi intéressant d'observer dans une autre étude que les performances des jeunes Chinois avec une scolarisation élevée sont relativement

comparables aux normes américaines du même âge et niveau d'éducation (Hsieh & Riley, 1998). Or, une différence significative est notée en ce qui concerne les normes chinoises et américaines chez une population adulte et âgée. Les auteurs ont expliqué cette disparité par le fait que plusieurs Chinois âgés ont eu des opportunités de scolarisation très restreintes en lien avec la Révolution culturelle de 1966-76 (Hsieh & Riley, 1998). Cette situation est à prendre en compte, car elle pourrait se produire dans d'autres pays où les adultes et personnes âgées ont eu peu d'accès à l'éducation.

Agranovich et Puente (2007) ont également observé que les Russes avaient une moins bonne performance (temps de complétion) au CTT que les Américains. Les auteurs ont amené comme élément de discussion que ces résultats refléteraient le manque d'exposition et de familiarité des Russes aux tests chronométrés comparativement aux Américains. D'ailleurs, ils ont expliqué ce phénomène par le fait que les attitudes face à la contrainte de temps et la notion de temps peuvent différer dans chaque culture (Agranovich & Puente, 2007; Agranovich et al., 2011). Également, dans l'étude de normalisation de Tavakoli, Barekatin, et Emsaki (2015), le temps moyen de complétion de la tâche était plus élevé pour le CTT1 et le CTT2 que dans d'autres études normatives effectuées auprès des populations grecques (Messinis et al., 2011), américaines (D'Elia et al., 1996) et brésiliennes (Rabelo et al., 2010). Ces résultats peuvent mettre en lumière certaines différences culturelles et être expliqués par le fait que certaines cultures accordent davantage d'importance à la qualité du travail et non à la rapidité. Par conséquent, les participants ont tenté de compléter le test avec le moins d'erreurs possible sans tenir compte du temps (Tavakoli et al., 2015). Ainsi, certaines performances aux tests neuropsychologiques, dont le CTT, peuvent être influencées par la culture, et ce, même pour des tests se disant transculturels. De ce fait, les normes fournies dans le manuel (D'Elia et al., 1996) devraient être utilisées avec prudence avec une population non américaine et ne devraient pas être appliquées d'un pays à l'autre. Étant donné la disparité dans les performances des tests neuropsychologiques entre les différentes ethnies et cultures, l'utilisation de normes provenant d'un pays étranger est fortement découragée. Ces propos mettent un accent particulier sur le fait qu'il est assez difficile d'avoir des tests

exempts d'influence culturelle et appellent au développement de normes qui tiennent compte de ces limites. Il est alors pertinent de normaliser le CTT dans la culture franco-qubécoise.

1.8 Études normatives

1.8.1 Normes originales. Les normes originales du CTT ont été réalisées à partir d'un échantillon américain de 1528 participants, dont 158 Afro-américains et 292 Hispano-américains, âgés entre 18 et 89 ans (D'Elia et al., 1996). L'échantillon était constitué de participants en bonne santé et n'ayant aucune condition médicale, psychologique ou neurologique particulière pouvant influencer la performance au CTT (D'Elia et al., 1996). Les données ont été regroupées par âge, les divisant en cinq catégories (18-29, 30-44, 45-59, 60-74, et 75-89). Cependant, la taille d'échantillon dans chaque groupe d'âge n'a pas été mentionnée, questionnant ainsi la représentativité des normes dans chaque tranche d'âge. Également, pour chaque tranche d'âge, le niveau de scolarité a été fractionné en 6 catégories. L'échantillon était composé principalement d'hommes, les femmes représentant seulement 12% de l'ensemble des participants. Comme l'influence du sexe expliquait très peu la variance des performances au CTT, les auteurs ont conclu que la petite proportion de femmes dans l'échantillon ne constituait pas une limite à la validité et l'utilité du test (D'Elia et al., 1996).

1.8.2 Normes de différentes cultures. Depuis le développement du CTT, des études de normalisation ont été réalisées auprès de multiples groupes culturels. Deux études normatives ont été réalisées auprès de populations chinoises (Hsieh & Riley, 1998; Hsieh & Tori, 2007) comprenant respectivement des échantillons de 177 et 324 participants. Dans l'étude de Hsieh et Riley (1997), les intervalles d'âge sont adéquats et bien divisés (30-39, 40-49, 50-59, 60-69 et 70-83). Toutefois, malgré un plus grand échantillon normatif de la 2^e étude (Hsieh & Tori, 2007), celle-ci a divisé l'échantillon en trois grands groupes d'âge soit les jeunes adultes de 30 à 45 ans (n = 142), les adultes de 45 à 60 ans (n = 71) et les personnes âgées de 61 à 81 ans (n = 111). Aucune justification n'a été énoncée afin

d'expliquer le choix de ces larges tranches d'âge. Il est possible de penser qu'un tel choix a été fait afin de garder une taille d'échantillon suffisante dans chaque groupe d'âge. Le CTT a également été normalisé auprès chez 1 942 Brésiliens résidant aux quatre coins du pays (Rabelo et al., 2010). Dans cette étude, les auteurs n'ont pas décrit explicitement comment les données ont été regroupées selon l'âge et selon le niveau de scolarité. Les données ont seulement été illustrées dans un tableau résumé en y indiquant qu'un groupe de 18 à 29 ans ($n = 639$), de 30 à 59 ans ($n = 1\ 008$) et de 60 ans et plus ($n = 295$) servait à comparer la performance au CTT en ce qui concerne le temps d'exécution et l'index d'interférence. Or, malgré une méthodologie relativement de bonne qualité, cette étude s'est appuyée sur des intervalles d'âge assez grandes. Cela rend difficile l'utilisation de telles normes pour certaines tranches d'âge et plus particulièrement auprès des personnes âgées. En effet, les personnes âgées présentent généralement un déclin des performances plus accentué et donc, l'utilisation de tranche d'âge plus restreinte représenterait mieux cette population.

L'étude de Messinis et al. (2011) a visé à établir des normes à partir d'un échantillon de 163 Grecs sains ayant une moyenne de 45,71 ans et un niveau éducationnel moyen de 12,85 ans. Les tranches d'âge étaient divisées en trois catégories (19-39, 40-59 et 60-75). Dans cette étude, les auteurs ont utilisé les rangs centiles comme méthode de normalisation. Or, les tailles d'échantillon représentant la tranche d'âge 60-75 ans stratifié en fonction du niveau de scolarité sont très petites ($n = 13$ et $n = 21$ respectivement). Par conséquent, les cliniciens doivent faire preuve de vigilance lors de l'interprétation des performances au test de leur client. Une autre étude plus récente, sur la même population culturelle, a été réalisée auprès de 321 Grecs. L'échantillon normatif a été regroupé selon six groupes d'âge (20–29, 30–39, 40–49, 50–59, 60–69, 70–85) dans le but de pallier les limites de l'étude de Messinis et al. (2011) en réduisant l'étendue des tranches d'âge (Konstantopoulos et al., 2013). Ceci constitue une force de l'étude qui permet d'évaluer plus précisément la performance des participants. Ainsi, bien que la méthode de normalisation basée sur les rangs centiles soit facile à comprendre et à calculer, la stratification par l'âge et le niveau d'éducation nécessite une plus grande taille d'échantillon afin d'avoir un nombre suffisant de participants dans chaque catégorie.

Une autre étude de normalisation a été réalisée auprès de 611 Turcs âgés entre 20 et 100 ans recrutés dans 18 villes différentes (Kudiaki & Aslan, 2008). En réponse également aux limites établies dans l'étude de Messinis et al. (2011) quant aux larges tranches d'âge, les auteurs ont divisé les groupes en tranches d'âge plus restreintes afin de mieux prendre en compte l'influence de cette variable (Kudiaki & Aslan, 2008). Ainsi, les participants ont été divisés en six groupes distincts (20–29, 30–39, 40–49, 50–59, 60–69 et 70–100). Il est important de noter que dans l'étude de Kudiaki et al. (2008), l'ordre d'administration des tests n'était pas le même pour toutes les tranches d'âges. Par conséquent, il est possible de questionner l'influence de cette passation non conforme sur la performance des participants.

Des normes du CTT ont été établies auprès de 617 Iraniens (Tavakoli et al., 2015). Les participants ont été divisés selon six groupes d'âge (15-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64 et > 65) et selon le niveau d'éducation (0-6, 6-12 et > 12). Le regroupement des 65 ans et plus peut limiter l'interprétation des scores dans cette tranche d'âge. Ainsi, les auteurs de l'étude suggèrent que les normes du CTT chez les Iraniens représentent mieux la population plus jeune.

Une autre étude de normalisation du CTT a été produite au Danemark (Vogel et al., 2013). L'échantillon normatif a été composé à partir de 100 participants âgés entre 60 et 87 ans. Ils ont été catégorisés en trois groupes d'âge soit les 60-67 ans, 68-74 ans et 75-87 ans. Des comparaisons ont également été effectuées entre les performances des différents groupes d'âge. Il est intéressant d'observer que la performance du groupe 60-67 ans différait significativement du groupe 75-87 ans avec un temps de complétion moyen de 48 secondes et 67,8 secondes pour le CTT1, de même que 98,4 secondes et 141,3 secondes pour le CTT2, respectivement (Vogel et al., 2013). Ces résultats appuient d'autant plus l'importance d'avoir des normes pour les personnes âgées. Cette étude a donc permis d'objectiver l'influence des changements cognitifs due au vieillissement sur la performance des participants (ralentissement du temps de complétion).

Plus récemment, des normes ont été réalisées auprès de 669 Indiens âgés entre 18 et 69 ans (Indorewalla et al., 2020). Les participants ont été divisés selon cinq groupes d'âge (18-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69) et selon le niveau de scolarité (<15 et >16). La taille de l'échantillon pour les sous-groupes d'adultes plus âgés (participants âgés de 60 à 69 ans) était dans de nombreux cas inférieurs à cinq participants, ce qui limite considérablement son utilité pour générer des données normatives significatives auprès de cette population. Cette dernière étude démontre d'autant plus l'importance de produire des normes pour la population plus âgée qui est sous représentée dans plusieurs études normatives et dont les tailles d'échantillon sont souvent petites.

À ce jour, il existe deux études normatives de sous-groupes culturels, dont celle de Ponton et al. (1996) ayant été réalisée auprès de 300 participants hispano-américains de 16 à 75 ans. L'échantillon normatif a été stratifié par tranche d'âge de 16-29, 30-39, 40-49 et 50-75. La tranche d'âge 50-75 ans semble très vaste compte tenu des changements au niveau du fonctionnement cognitif au cours du vieillissement (Pontón et al., 1996). Par conséquent, considérant les tranches d'âge de cette étude, les normes seraient plus adéquates pour les individus de 50 ans et moins. La seconde étude (Larue et al., 1999) a été effectuée auprès de 797 aînés hispaniques âgés de 65 à 97 ans. L'échantillon a également été divisé par l'âge (65-74, 75-97) et le niveau de scolarisation (0-6, 7-9, 10-12, >12). Quelques considérations concernant cette étude doivent toutefois être prises en compte. Malgré la grande taille de l'échantillon normatif, la taille de chacun des niveaux de scolarisation comporte moins de 50 participants pour la tranche d'âge 75-97 ans. Également, les auteurs ont mentionné qu'en raison de contraintes de temps, ils ont modifié le protocole de passation standardisé en mesurant le nombre de cercles correctement reliés en 60 secondes. Évidemment, cette procédure de passation non conforme rend l'interprétation des données normatives plus difficile.

Dans plusieurs études, le temps de complétion (en secondes) a été évalué. Or, plusieurs travaux, hormis ceux D'Élias (1996), Kudiaki & Aslan (2008), Konstantopoulos et al. (2013) et Tavakoli et al. (2015) n'ont pas rapporté les types d'erreurs « presque erreur » et « amorçage ». Pourtant, ces scores du CTT nous renseignent sur des types d'erreurs fréquemment observés suite à des lésions cérébrales (Kudiaki & Aslan, 2008) et peuvent être utiles à une meilleure interprétation de la performance (Konstantopoulos et al., 2013). En effet, le « presque erreur » a originalement été introduit afin d'illustrer les difficultés qui pouvaient se retrouver chez des personnes ayant eu des atteintes cérébrales. D'Élia et al. (1996) expliquait que les tests requéraient un plus grand effort cognitif pour les participants ayant eu une lésion cérébrale. Ces derniers observaient alors qu'ils s'auto-corrigeaient souvent avant de réaliser une erreur. Ce type d'erreur reflète le fait que le client soit attiré vers un distracteur, mais semble en mesure d'inhiber cette réponse afin de poursuivre la tâche. Il est alors possible d'imaginer que lorsque plusieurs erreurs de ce type sont produites, des difficultés au niveau de l'inhibition peuvent être présentes. Ces informations peuvent ainsi aider à l'interprétation de la performance. Aussi, avec une performance déficitaire au CTT, l'étude de ce type d'erreur peut par exemple expliquer le temps de complétion plus élevé si le client semblait perdre beaucoup de temps à inhiber certains distracteurs. D'ailleurs, les résultats d'une autre étude suggèrent que les personnes plus âgées produiraient plus d'erreurs de type « presque erreur » et « amorçage » que les jeunes (Konstantopoulos et al., 2013). Ces résultats pourraient alors être interprétés en lien avec les changements cognitifs dus au vieillissement et du fait que les personnes âgées tendent à avoir une diminution avec l'âge de leur capacité d'inhibition des comportements automatiques (McDowd & Shaw, 2000; Nielson, Langenecker, & Garavan, 2002). Par ailleurs, seulement l'étude de Hsieh (1997) a établi des normes pour l'index d'interférence. Dans un même ordre d'idée, Mitrushina et al. (2005) ont également suggéré que l'établissement de normes devrait non seulement inclure le temps de complétion, mais aussi toutes les autres variables identifiées dans le test, dont les erreurs de type « presque erreur » et « amorçage », les erreurs de séquence de chiffres et de couleur et l'index d'interférence. Il est à noter que très peu d'études de normalisation du CTT ont été réalisées seulement auprès d'une population âgée. De celles qui en ont fait l'objet, plusieurs lacunes en sont ressorties, dont l'utilisation d'une passation non standardisée du CTT, des tranches d'âge

assez large (65 ans et plus) ainsi qu'une taille d'échantillon insuffisante (moins de 5 participants par catégorie d'âge).

1.9 Résumé

En bref, l'utilisation des tests standardisés en neuropsychologie clinique permet d'établir un profil du fonctionnement cognitif d'une personne. À cet effet, les scores aux tests neuropsychologiques doivent idéalement être interprétés en fonction de normes adéquates (Mitrushina, 2005). Le CTT a été développé afin de minimiser le plus possible l'influence du langage et de permettre une application interculturelle plus large. À cet effet, plusieurs normes ont été produites pour ce test dans plusieurs cultures différentes. Ces études ont illustré une influence de l'âge et du niveau de scolarité sur la performance au test. Également, elles ont rapporté un biais culturel pouvant être objectivé par des différences de performance (temps de complétion) selon les ethnies et cultures.

Dans la présente étude, compte tenu des limites mentionnées ci-haut, de la nécessité de tests neuropsychologiques standardisés et normalisés au Québec et de l'applicabilité transculturelle potentielle du CTT, il est convenu qu'un tel outil serait utile aux cliniciens et chercheurs québécois. La normalisation du CTT chez les personnes âgées franco-québécoises est donc nécessaire afin d'obtenir des évaluations et des interprétations précises des résultats au test.

1.10 Objectif et hypothèse

L'objectif de la présente étude est de produire un standard normatif pour le CTT chez les Québécois francophones de 50 ans et plus. Il est attendu qu'avec l'âge, les performances au CTT diminueront et qu'un haut niveau de scolarité permettra d'obtenir une meilleure performance.

Chapitre 1: Article

Normative Data for the Color Trails Test in Middle-Aged and Elderly Quebec-French People

Anne-Sophie Gaudreau, BA^{1,2}, Joël Macoir, PhD^{1,3} Carol Hudon, PhD^{1,2}

¹CERVO Brain Research Centre, Quebec, Canada

²School of Psychology, Laval University, Quebec, Canada

³Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation, Laval University, Quebec, Canada

Key words: norms/normative studies; executive functions; attention; Color Trails Test; elderly/geriatrics/aging

Résumé

Objectif : Malgré son utilisation dans plusieurs milieux cliniques et de recherche, les informations concernant l'incidence des variables sociodémographiques sur la performance au Color Trails Test (CTT) chez les adultes et les personnes âgées franco-québécoises demeurent inexistantes. Ainsi, cette étude visait à établir des données normatives sur la performance au CTT pour le temps de complétion du test (CTT1 et CTT2) et les scores d'erreur en tenant compte de l'influence de l'âge, de l'éducation et du sexe.

Méthode : L'échantillon était composé de 169 individus franco-québécois vivant dans la communauté et en bonne santé âgés de 50 à 90 ans et ayant un niveau d'éducation se situant entre 6 et 21 ans.

Résultats : À la suite d'une transformation logarithmique, les analyses de régression ont indiqué que l'âge était associé au temps de complétion au CTT1 et CTT2 et à certains scores d'erreur. L'association était également positive avec l'indice d'interférence. L'éducation était marginalement significative au CTT1, mais n'était associée ni au temps de complétion au CTT2 ni à l'indice d'interférence. L'éducation n'était associée seulement qu'à l'erreur de chiffres dans le CTT2. Enfin, le sexe n'était associé à aucune variable. Des équations pour calculer les scores Z et les centiles sont présentées. Nos résultats ont montré que l'âge est un facteur important à considérer pour l'interprétation des scores dans toutes les variables du CTT. Les participants plus âgés ont pris plus de temps et ont produits plus d'erreurs par rapport aux participants plus jeunes. Les résultats ont également indiqué que l'âge était un meilleur prédicteur de la performance que l'éducation.

Conclusions : Les normes pour le CTT faciliteront l'interprétation du fonctionnement exécutif chez les adultes et les personnes âgées franco-québécois et favoriseront une meilleure discrimination entre les états cognitifs normaux et pathologiques.

Abstract

Objective: Despite the widespread use of the Color Trails Test (CTT) in clinical and research settings, information regarding the impact of sociodemographic variables on test performance in Quebec-French adults and elderly people is nonexistent. This study aimed to establish French-Quebec normative data for error scores and completion time on all test trials (CTT1 and CTT2) taking into account the impact of age, education, and sex on test performance.

Method: The sample consisted of 169 community-dwelling and healthy Quebec-French individuals aged between 50 and 90 years and between 6 and 21 years of formal education.

Results: The distributions of the data were transformed logarithmically. Regression analyses indicated that age was associated with completion time on CTT1 and CTT2 and some error scores. The association was also positive with the interference index. Education was marginally significant at CTT1 but was not associated with CTT2 completion time nor interference index. Education was only associated with number error of the CTT2. Finally, sex was not associated with any variables. Equations to calculate Z scores and percentiles are presented.

Conclusions: Norms for the CTT will ease interpretation of executive functioning in Quebec-French adults and elderly and favor accurate discrimination between normal and pathological cognitive states.

Introduction

Trail Making Test (TMT) tasks are widely used in research and clinical practice because of their ease of administration and susceptibility to brain damage (Lezak et al., 2004). The TMT consists of two parts. Trail A consists of connecting the circles numbered 1 to 25 in sequential order as quickly as possible. In Trail B, the subject must connect the circles by alternating between the numbers (1-13) and the letters (A-L) while maintaining the chronological and alphabetical order (e.g.: 1-A-2-B-3-C, etc.). The time to complete the task is measured for both conditions, as well as errors in alternation between numbers and letters. The Trail Making Test (Reitan & Wolfson, 1993), originally developed in 1938 by John Partington as a sub-test forming part of the Leiter-Partington Adult Performance Scale (Partington & Leiter, 1949), allows, among other things, the evaluation of flexibility, psychomotor speed and certain attentional abilities, including selective attention and visual scanning (Lezak et al., 2004; Strauss et al., 2006). However, TMT's stimuli are based on the letters of the Latin (or Roman) and Anglo-Saxon alphabet, greatly limiting its use in countries and regions where this alphabet is not used. Moreover, a poor performance on Part B of the Trail Making Test is often associated with a lack of familiarity with the alphabet, especially among illiterate people with low education, as well as persons with a language or reading disorder (D'Elia et al., 1996; Mitrushina, 2005). Therefore, TMT may induce certain biases in the neuropsychological assessment with respect to its cultural and linguistic properties, thus illustrating the need to use a test that takes these limitations into account.

The Color Trails Test (CTT) was developed as an alternative analog of the TMT that is free from the influence of language and cultural bias (D'Elia et al., 1996). The CTT primarily assesses responsive flexibility, psychomotor and information processing speed, visual scanning, and selective attention (Strauss et al., 2006). Like the TMT, the CTT is administered in two parts. In part 1, the participant connects the circles numbered 1 to 25 in chronological order. In part 2, the participant must connect the circles in sequential order while alternating between yellow and pink (D'Elia et al., 1996). By replacing English alphabet with colors, the CTT reduces the impact of language on participants test

performance (D'Elia et al., 1996). Also, compared to TMT another utility of this test is the presence of error types as it can provide additional information about subject's performance.

Since its development, the CTT has also proven very sensitive in detecting deficits in different clinical neurological and psychiatric populations (D'Elia et al., 1996; Elkin-Frankston, Lebowitz, Kapust, Hollis, & O'Connor, 2007; Hartman-Maeir et al., 2008; Indorewalla et al., 2020; Lee & Cheung, 2005; Liu, Chan, Lee, & Hui-Chan, 2004; McGuinness, Barrett, Craig, Lawson, & Passmore, 2010; Messinis et al., 2011; Narasimhalu et al., 2010; Sacktor et al., 2009; Tyburski et al., 2020; Wright et al., 2008). Significant delays in the completion time of CTT1 and CTT2 have been reported in patients who suffer from traumatic brain injuries (D'Elia et al., 1996), mild to moderate Alzheimer's disease or vascular dementia (McGuinness et al., 2010), and human immunodeficiency virus (HIV) seropositives (Maj et al., 1993; Sacktor et al., 2009). Messinis et al. (2011), focusing on people who have had a stroke or Parkinson's disease, showed a significant difference in the time to completion of CTT1 and CTT2 compared to a control group of cognitively healthy individuals. Indeed, the CTT is commonly used in people who have suffered a stroke, particularly in a rehabilitation context (Liu et al., 2004). In a recent study examining the effects of rivastigmine in patients aged between 55 and 85 years with cognitive impairment due to cerebrovascular disease, the CTT was shown effective to measure an improvement in executive functions in these patients compared to baseline performance (Narasimhalu et al., 2010).

Other research in individuals with acquired brain injury who sought to obtain (or reobtain) a driver's license (Hartman-Maeir et al., 2008) reported that approved road test participants completed CTT1 and CTT2 faster than individuals who failed the driving test. These results are consistent with those of another study that assessed driving in a senior population (Elkin-Frankston et al., 2007). Indeed, the results of this other study found that CTT was comparable to TMT as a tool for screening driving skills. A recent study also

illustrated the usefulness of CTT in a psychiatric population. Lee and Cheung (2005) noted that CTT objectified cognitive deficits in schizophrenic patients. The same results were observed in another study (Güleç et al., 2006) where the clinical group test performance was deficient compared to healthy subjects. Moreover, one study reported an association between the negative symptoms and disorganization of schizophrenia and a decrease in performance time as well as a lack of flexibility in the CTT (Tyburski et al., 2020).

Numerous normative studies have examined the characteristics of individuals that significantly influence their performance on the CTT. Age and education are the most associated factors with test performance (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Riley, 1998; Hsieh & Tori, 2007; Indorewalla et al., 2020; Konstantopoulos, Issidorides, & Spengos, 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue, Romero, Ortiz, Chi Lang, & Lindeman, 1999; Messinis et al., 2011; Pontón et al., 1996; Rabelo et al., 2010; Tavakoli, Barekatin, & Emsaki, 2015; Vogel, Stockholm, & Jørgensen, 2013). Specifically, aging and a low level of education lead to an increase in completion time for both CTT1 and CTT2. The authors of one study demonstrated that there was a significant change in performance as of age of 50 for CTT1 performance and as of age of 40 years for CTT2 (Kudiaki & Aslan, 2008). These differences in performance in age groups could be interpreted in relation to the fact that CTT1 is less cognitively demanding and that CTT2 is more demanding in terms of attentional and executive capacities (Mitrushina, 2005). This phenomenon is also reproduced in the types of errors recorded. Indeed, Kudiaki and Aslan (2008) found that older individuals produce more errors than younger ones, especially in the 60-69 and 70-100 age groups. As for the relationship between the sex of participants and performance, most normative studies have found a non-significant effect of this factor on performance (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Tori, 2007; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue et al., 1999; Messinis et al., 2011; Pontón et al., 1996; Tavakoli et al., 2015).

Cultural factors have also been found to play a role in participant performance on the task. Studies examining group differences have found significant discrepancies in test

performance among ethnically diverse groups (Agranovich & Puente, 2007; Agranovich et al., 2011; Hsieh & Riley, 1998; Messinis et al., 2011; Tavakoli et al., 2015; Vogel et al., 2013). For instance, norms from different countries reveal that Greek people (Messinis et al., 2011) perform poorer at CTT1 and CTT2 compared to Danish (Vogel et al., 2013) and American (D'Elia et al., 1996) people. Agranovich and Puente (2007) also observed that the Russians had a poorer performance (completion time) on the CTT than the Americans. According to Agranovich and Puente (2007), these results may highlight cultural differences and be explained by the fact that some cultures probably place more importance on the quality of work and not on speed. Thus, performance in neuropsychological tests, including the CTT, can be influenced by culture, even for tests that claim to be transcultural. Therefore, the standards provided in the test manual (D'Elia et al., 1996) should be used with caution with a non-US population. Given the disparity in the performance of neuropsychological tests between different ethnicities and cultures, the use of standards from a foreign country is strongly discouraged. It is possible that using normative data derived from a different country or culture will lead to unreliable results.

Aims and Hypotheses

Despite the widespread use of the CTT, normative data and information regarding the influence of sociodemographic factors on test performance in Quebec-French adults and elderly people is nonexistent. The objective of the present study was thus to establish normative data for Quebec-French middle-aged and older adults. The impact of age, education, and sex was examined for error scores and completion time, as well as for interference scores.

Methods

Participants

This study includes a total of 169 participants and is part of a normalization project for neuropsychological tests. Participants originated from the community in Quebec City (Canada) and were recruited through various mediums (e.g., ads, mailing lists). Consent and information form was signed by all participants before the start of the study. The study

procedures were approved by the Research Ethics Board of the *Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale-Nationale* (CIUSSS-CN, approval #2019-1541).

All participants included in the study were Caucasian, at least 50 years of age, living independently in the community, and reported French as their mother tongue and usual language. The exclusion criteria were as follows: 1) z score of -1.5 or less on the MoCA, as established by the standards of the research team (Larouche et al., 2016); 2) subjective cognitive complaint; 3) active and unstable psychiatric syndrome; 4) history of moderate or severe traumatic head injury; 5) history of stroke; 6) history of intracranial surgery; 7) neurodegenerative disorders; 8) untreated medical or metabolic conditions; 9) delirium in the last 6 months; 10) electroconvulsive therapy in the last 12 months; 11) cancer treatment in the last 12 months; 12) general anesthesia in the last 6 months; 13) history of psychotic symptoms or manic episodes; 14) history of substance abuse; 15) any medication that could alter the functioning of language and memory (e.g., anticholinergic medication); 16) uncorrected vision or hearing problems.

Materials and Procedures

Two two-hour sessions took place at the research center. The CTT was individually administered by trained (and audited) research assistants to all subjects as part of a larger neuropsychological battery. CTT was administered in the second session. The order of the tests in each session was determined to minimize the interference between the tests so it was all the same for all subjects.

Clinical and neuropsychological assessment. During the first assessment session, a sociodemographic questionnaire was administered. A cognitive screening tool was administered to verify eligibility to the study (Montreal Cognitive Assessment- MoCA; normative data by Larouche et al., 2016). The MoCA is a test that takes approximately 10

to 15 minutes to complete and includes 14 items that assess various cognitive domains. Areas assessed include attention, executive functions, memory, language, visuoconstructive and visuospatial skills, abstraction, computation, and orientation in time and space. Finally, the subjective memory complaint was assessed with the Questionnaire to assess subjective cognitive complaint - Revised (*Questionnaire pour évaluer la plainte cognitive subjective – Révisé*; QEDCS-R; adapted version of Jessen et al., 2020). This home questionnaire aims at determining whether or not a cognitive complaint corresponds to that of the concept of Subjective cognitive decline (Jessen et al., 2020).

Color Trails Test (CTT). The CTT (Parts 1 and 2) was administered to the participants based on the test guidelines (D'Elia et al., 1996). The CTT1 administration involved the connection of encircled numbers (1–25) with a pencil on a Letter paper sheet (21 cm X 28 cm), while the CTT2 administration involved the alternating sequence of numbers (1–25) and colors (yellow and pink). The CTT1 variables that were measured involved test completion time (in seconds), number of errors (number of times the examinee connects a circle in an improper numerical sequence), number of near-misses (number of times that the respondent initiated a line toward an incorrect circle and he/she self-corrected), and number of prompts (number of times that the examiner points to the correct circle after the examinee delayed the initiation of line drawing for more than 10 seconds). The CTT2 variables involved the aforementioned variables and one additional variable, the number of color errors (number of times the respondent incorrectly connects a circle with an improper color). Finally, the interference index was used to separate the impact of visual perceptual tracking and sustained attention (measured in both CTT1 and CTT2) from divided attention and alternating sequencing skills (measured in CTT2). The interference index was defined as the difference in time completion (CTT2 – CTT1) divided by the CTT1 completion time (D'Elia et al., 1996).

Statistical Analyses

Data analyses were performed with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, version 26) with a significance level set at $p < .05$. Variables were tested for normality of distribution, homogeneity of variance, and randomness of missing data

distribution. Visual inspection of the data was conducted to verify the normality of the distribution. The distribution of both CTT1 and CTT2 time scores were somewhat skewed. For that reason, a logarithmic transformation ($\log_{10}(\text{time})$) was applied for both conditions (Tabachnick & Fidell, 2013). To predict expected Color Trails Test performance according to sociodemographic, a multiple regression analysis was performed of both CTT1 and CTT2 time scores. Visual analyses were conducted to verify the underlying assumptions of the regression model. All variables were entered in the analyses as continuous variables except sex, which was coded as 0 for women and 1 for men. Because of the skewed distribution of error scores, Spearman correlations were computed to determine the sociodemographic variables independently associated with error scores. Percentiles for error scores were generated and were stratified according to the significant correlates. For example, if only age was significantly correlated with performance, then percentiles were stratified by age only.

Results

Participants' characteristics

The final normative sample consisted of 169 community-dwelling participants (65 males and 104 females), between 50 and 90 years of age (mean age = 69.36 years; SD = 8.05) who had between 6 and 21 years of formal education (mean education level 14.20 years; SD 2.86) and a mean z score of 0.24 on the MoCA scores and a standard deviation of 0.75. The distribution (n and %) of participants according to their socio-demographic characteristics is summarized in Table 1. Approximately 2/3 of the sample is represented by females. Highly educated participants in age ranges 60-69 and 70-79 are overrepresented in our sample compared with actual Quebec demographics (Government of Quebec, 2020).

[INSERT TABLE 1 HERE]

Visual inspection of the data showed that the distributions of CTT1 and CTT2 scores in the present sample were somewhat skewed. This situation therefore justified the

use of a logarithmic transformation in order to normalize the distribution of the data to meet the postulates of multiple regression (Tabachnick & Fidell, 2013).

Table 2 shows the regression coefficients and intercepts for each measure of the CTT. The CTT1 model accounted for 10.8% of the variance, $F(3, 165) = 6,678, p < .001$, while age ($p < .001$) was a significant predictor and education ($p = .078$) and sex ($p = .789$) were marginally significant. Semi-partial correlations revealed that age ($sr = .298$) was by far the best predictor of CTT1 time, when compared to education ($sr = -.137$) and gender ($sr = -.020$). The CTT2 model accounted for 25.1% of the variance, while only age ($p < .001$) was a significant predictor, $F(3, 165) = 18.85, p < .001$ (education: $p = .148$, sex: $p = .342$). Semi-partial correlations revealed that age ($sr = .484$) was the best predictor of CTT2 time, followed by education ($sr = -.112$), and gender ($sr = -.074$).

[INSERT TABLE 2 HERE]

Table 3 shows the Z-scores for CTT1 and CTT2 based on the results from the regression models. In order to facilitate the calculation of Z-scores based on the regression formulas, we prepared a Microsoft Excel® spreadsheet containing automatic formulas. This file can be downloaded from the journal's website (see Supplemental online material) or by writing to the corresponding author.

[INSERT TABLE 3 HERE]

No sociodemographic predictors were significantly correlated with CTT1 near-misses (age: $r = -.059, p = .445$; education: $r = .098, p = .207$; gender: $r = .087, p = .261$), CTT1 prompts (age: $r = .056, p = .473$; education: $r = -.110, p = .153$; gender: $r = .054, p = .485$), CTT2 color errors (age: $r = .009, p = .911$; education: $r = -.134, p = .082$; gender: $r = -.094, p = .225$) and CTT2 prompts (age: $r = .125, p = .105$; education: $r = .035, p = .651$; gender: $r = .005, p = .958$). Age was significantly correlated with CTT1 errors (age: $r = .176, p = .022$), CTT2 number errors (age: $r = .203, p = .008$), CTT2 near-misses (age: $r = .212, p = .005$) and index interference (age: $r = .228, p = .006$). Also, education was significantly

correlated with only CTT2 number errors (education: $r = -.191$, $p = .013$). Percentiles for error scores are provided in Tables 4–6.

[INSERT TABLE 4-6 HERE]

Discussion

The objective of the present study was to establish normative data for the CCT adapted to French-Quebec adults and elderly people. The normalized scores included the completion time and error scores for both CTT1 and CTT2. Special emphasis was put to provide norms for several CTT error scores (near-misses, prompts, and interference index), which are not systematically reported in other normative studies. Also, these error types are what makes the CTT a possible alternative to the TMT, other than the fact that it has claim to not being influenced by culture. Linear multiple regressions were performed for each condition using age, education, and gender as predictors.

As expected, age was found to be negatively associated with completion time on CTT1 and CTT2, which is generally in line with the results of previous normative studies (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Riley, 1998; Hsieh & Tori, 2007; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue et al., 1999; Messinis et al., 2011; Pontón et al., 1996; Rabelo et al., 2010; Tavakoli et al., 2015; Vogel et al., 2013). More precisely, age has a negative effect on test performance on the CTT (Mitrushina et al., 2005). In the present study, older participants took more time to complete the test compared to younger participants. Our results also showed that age explains a greater proportion of the variability in performance in CTT2 than CTT1. These differences could be interpreted in relation to the fact that CTT2 is more demanding in terms of attentional and executive capacities (Mitrushina, 2005). The influence of age on performance may be dependent on the fact that with normal aging, a decrease in psychomotor and information processing speed is observed (Tavakoli et al., 2015; Vogel et al., 2013). Also, as they age, people's executive functions undergo changes and, more specifically, a decrease in inhibitory and flexibility

mechanisms (McPherson & Koltai, 2018). Compared to younger people, older people perform less well on executive efficiency tasks (Salthouse, 2010).

The results of the present study showed a marginally significant contribution of education to the prediction of completion time in CTT1, but not CTT2. These results have also been partially confirmed in the study by Vogel et al. (2013), which found that CTT2 completion time was not predicted by education levels. The Vogel et al.'s study was done specifically with a sample of elderly participants, which also represents a part of the target population of the current study. These results could be explained by the fact that the CTT reduces the impact of language and level of education on participants' test performance (D'Elia et al., 1996). The results of the present study may also highlight the cross-cultural use of the CTT, where the use of color instead of the letters of the alphabet in the CTT2 can reduce the influence of education on performance. In contrast, other studies have found an association between time (seconds) and education in both conditions (Messinis et al., 2011; Rabelo et al., 2010; Hsieh & Tori, 2007; Lee & Chan, 2000). However, most of these studies have been carried out on a large section of the population in which many sample sizes representing the elderly were very small. When the sample was of good size, the age ranges were often very large (e.g.: 65 years and over) and therefore do not fully represent the cognitive changes in this population. In this regard, our study might better represent the evolution of executive functions in the elderly population. These discrepancies between previous results could also be due to sample bias. Namely, our sample was overrepresented by highly educated people even though the regression analysis tends to reduce this influence. One cannot exclude that education may account for less variance on CTT scores in normative data that use samples with significantly higher educated participants.

Inconsistent results have been found regarding the contribution of gender in predicting performance on the CTT. The present study found no effect of gender on CTT performance in either condition, which has been observed in previous studies (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Tori, 2007; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue et

al., 1999; Messinis et al., 2011; Pontón et al., 1996; Tavakoli et al., 2015). One study by Rabelo et al. (2010) found a significant difference in the time of execution between males and females on the CTT. On both parts of the CTT, men had better performance than women. Messinis et al. (2011) also found a significant but weak contribution of gender to predicting completion time on the CTT1. However, such a contribution was not found on the CTT2. More research is needed to shed light on these controversial findings.

Few studies have proposed normative data for the number of CTT errors and interference index (D'Elia et al., 1996; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Tavakoli et al., 2015). Yet, CTT error scores tell us about common types of errors following brain injury (Kudiaki & Aslan, 2008) and may be useful for a better interpretation of performance (Konstantopoulos et al., 2013). In our study, age was positively correlated with error scores of CTT1 errors, CTT2 number errors, and CTT2 prompt. More precisely, being older was associated with higher error scores. These results are consistent with previous studies (D'Elia et al., 1996; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008). Education was only associated with CTT2 number errors, which is consistent with another study (Konstantopoulos et al., 2013). Finally, age was found to be associated with interference index scores, with older people showing a higher interference effect. This means that older people took significantly more time to complete the CTT2 than the CTT1. This index of interference is used to determine the relative contribution of cognitive flexibility/shifting (CTT2) in comparison to psychomotor processing speed (CTT1). Increased completion time in CTT2 might be expected as people get older because of the complexity and higher numbers of distractors in CTT2. These results are consistent with previous studies (D'Elia et al., 1996). However, one study found no significant correlation between age and interference index (Konstantopoulos et al., 2013). In this study, the skewed distribution of the error scores required the use of percentiles. For this purpose, an adequate sample size in each category was produced. A sample of 50 participants for each subgroup is sufficient to obtain an adequate measure (Bridges & Holler, 2007). However, for the CTT2 number errors, clinician should be careful in their interpretation as the sample size in some categories is under 50.

Strengths and Limitations

The present work has some limitations. Most normative studies recruit participants on a voluntary basis (Amieva et al., 2016; Hogan et al., 2017). The use of a convenience sample generally results in over-representation of a part of the population (Amieva et al., 2016; Laveault et al., 2014). This is the main limitation to the present study. The present sample is under representative of people aged between 50-60 years or 80 and more. As such, results should be interpreted carefully in individuals within the youngest (50-59) and oldest (80+) age clusters. Also, highly educated people (13 years and more) are overrepresented in our sample. Finally, the current sample contained more women than men. In this case, these normative standards should be interpreted with caution for men. The sampling of the present study is a starting point in the establishment of CTT norms for the Quebec-French population which were, until now, nonexistent.

This study also has significant strengths. An original aspect of this study was the regression-based approach used to calculate normative data for completion times on the CTT1 and CTT2. This normative method has the advantage of better estimating the expected performance of a participant given their personal characteristics, instead of discrete norms created using arbitrary age groups. Regression considers the continuous process of the variables under study (age and education) (Oosterhuis et al., 2016) as well as cognitive processes (Strauss, Spreen, et al., 2006). With a more traditional method of normalization, continuous variables, such as age and / or education, must be divided into categories that define separate groups of standards. In normative studies, the sample is often divided over several age intervals (65 to 75 and 76 to 85). Consequently, the relative standing of an individual may change dramatically as they move from one age category to another (Mitrushina, 2005; Thomann et al., 2018). In traditional techniques, more restricted age groups are established to overcome this possible limit (e.g., 65 to 70 years old rather than 65 to 75 years old). However, they require to have acceptable sample sizes in each of the categories to be precise, thus requiring large normative sample sizes (Oosterhuis et al.,

2016). Regression makes it possible to control for the weight of the integrated variables. It has also been shown that this technique is more efficient than a traditional normalization process, because the regression takes into account the entire sample compared to the division into subgroups (Busch, Chelune, & Suchy, 2006; Oosterhuis et al., 2016). Moreover, researchers conclude that the use of a regression technique requires a smaller sample of participants (2.5 to 5.5 times smaller) than traditional techniques (Oosterhuis et al., 2016). In our study, a sample size of 169 participants is therefore considered sufficient to produce statistical power and stability. In several normative studies, the sample size of certain age groups or level of education is too small (Mitrushina, 2005). In fact, this is often the case for people aged 50 and over. As the process of recruiting participants for standardization studies can be laborious, especially among the very old and poorly educated population, regression can provide elements of a solution to this issue in maximizing the sample size.

To illustrate the advantage of regression equations, let us imagine a 65-year-old woman with 12 years of education who completed CTT1 in 70 s and CTT2 in 150 s. First, based on the regression equations from Table 3, the patient's *Z*-scores would be -1.76 (4th percentile) and -2.19 (1st percentile), for CTT1 and CTT2, respectively. These results appear to be indicative of slowness in processing speed and/or difficulty with cognitive flexibility. With regards to cultural differences, we compared the first hypothetical patient's *Z*-scores (i.e. -1.76 and -2.19 for CTT1 and CTT2, respectively) to those obtained from the most widely used normative data in the United States, D'Elia (1996). The differences are impressive. Indeed, using D'Elia (1996) normative data, this 65-year-old-woman would reach a normal performance for CTT1 ($Z = -0.8$; 21th percentile) and a somewhat low score on CTT2 ($Z = -1.1$; 14th percentile). Now, let us rather imagine that this woman who completed CTT1 in 70 s and CTT2 in 150 s: (a) is aged 65 and has 7 years of education or (b) is aged 75 and has 12 years of education. Based on the regression equations, the *Z*-scores for the two CTT conditions would be -1.50 and -1.99 (7th and 4th percentile respectively) for the hypothetical case (a) and -1.39 and -1.54 (8th and 7th percentile) for the hypothetical case (b), for CTT1 and CTT2, respectively. Results for case (b) indicate

slight slowness while it is an indicator of deficit for the youngest woman (a). Using normative data from D'Elia (1996), case (a) obtains higher scores (38th percentile; $Z = -0.3$) as well as the patient (b) with Z -scores -0.2 (42nd percentile) and -0.8 (21st percentile) for CTT1 and CTT2 respectively. These various examples underline the importance of using culturally derived normative data and highlights the importance of developing normative data adjusted to the cultural and linguistic reality of Quebec-French individuals. In sum, data from the present study will strengthen accurate detection of deficits in psychomotor processing speed and executive functions in Quebec French-speaking adults and will invite clinicians to push further their investigation of potential executive deficits with additional testing.

Another strength of this study is the use of rigorous exclusion criteria to produce a healthy normative sample to maximize the sensitivity of the standards to detect deficient performance. The use of a sample from a so-called "normal" population implies selecting participants with strict exclusion criteria. In the literature, some authors argue about this sampling process when it can induce a "super normal" normalization sample (Amieva et al., 2016; Colombo, Amieva, Lecerf, & Verdon, 2016; Thomann et al., 2018). However, a sample based on the general population would be less appropriate for a geriatric clientele (Thomann et al., 2018). Considering that the prevalence of mild cognitive impairment (MCI) increases with age, the likelihood of including individuals with MCI in a sample based on the general population also increases (Thomann et al., 2018). In this study, people with subjective cognitive complaints were also excluded, thereby eliminating participants who could potentially develop MCI. Indeed, the goal generally aimed at in normative studies is to provide a standard as to the cognitive functioning of individuals in good health to facilitate the detection of a cognitive disorder in other people. Also, with advancing age, several chronic diseases are likely to appear and therefore to further influence the cognitive functioning of the elderly (Bergman & Almkvist, 2015; Lezak, 2012). Among other things, studies have shown that cholesterol (Van Vliet, 2012), diabetes (Rawlings et al., 2014), hypertension (Gottesman, 2014) and other chronic diseases have deleterious effects on cognition. Therefore, the inclusion of people with health problems that may affect cognitive

functioning may reduce the sensitivity of the normative standard (Bergman & Almkvist, 2015; Busch et al., 2006; Sliwinski, Buschke, Stewart, Masur, & Lipton, 1997). Therefore, our study is more likely to only include participants who do not have any cognitive impairment. Another strength is that all examiners used the same task instructions and versions and were all trained in the same way to administer the CTT.

Conclusion

To our knowledge, this is the first normative study for the CTT adapted to French-Quebec adults and elderly people. Results indicate that age is the best predictor of CTT performance compared with levels of education and sex. The discrepancy between D'Elia's norms and ours, even if they use a quite similar education system, underline the importance of using culturally derived normative data and highlights the importance of developing normative data adjusted to the cultural and linguistic reality of Quebec-French individuals.

Table 1. Demographics of participants in the normative sample (n = 169).

Characteristics	<i>N</i>	%
Age		
50-59	18	10.7
60-69	70	41.4
70-79	63	37.3
80 and more	18	10.7
Gender (women)	104	61.5
Education		
0-12 years	58	34.3
13 and more	111	65.7

Table 2. Coefficients for multiple linear regression analyses for CTT measures.

Variable	<i>B</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>
CTT1 ^a				
Age	.005	.296	4.015	<.001
Education	-.007	-.134	-1.776	.078
Sex	.006	.021	-.272	.786
CTT2 ^b				
Age	.008	.479	7.098	<.001
Education	-.005	-.100	-1.454	.148
Sex	-.019	-.066	-.953	.342

^a prediction for the log10 CTT1 time. Intercept = 1.367; square root of the mean square residual = .135.

^b prediction for the log10 CTT2 time. Intercept = 1.446; square root of the mean square residual = .123.

Table 3. Normative equations to calculate corrected Z-scores for age, education, and gender for CTT1 and CTT2 ($n = 169$).

Variable	Corrected Z-score for age, education, and gender
<i>CTT1 Z score</i>	$(\log_{10}(\text{CTT1 time}) - (1.367 + (.005 \times \text{age}) + (-.007 \times \text{education}) + (.006 \times \text{gender}))) / .13455 \times -1$
<i>CTT2 Z score</i>	$(\log_{10}(\text{CTT2 time}) - (1.446 + (.008 \times \text{age}) + (-.005 \times \text{education}) + (-.019 \times \text{gender}))) / .12337 \times -1$

Notes: age: participants' age (continuous variable; between 50 and 90); education: years of education (continuous variable; between 6 and 21). gender: female = 0, male = 1. Equation denominators corresponded to residual standard deviations of each model.

Table 4. Percentiles for error scores ($n = 169$)

Measures	n	Percentiles for the number of errors							
		1st	2nd	5th	10th	15th	25th	50th	95th
CTT1 near-misses	169	3	2	1	0	0	0	0	0
CTT1 prompts	169	2	1	1	1	0	0	0	0
CTT2 color errors	169	2	2	1	1	1	0	0	0
CTT2 prompts	169	4	3	2	1	1	1	0	0

Table 5. Percentiles for error scores stratified for age ($n=169$)

Measures	Age	<i>n</i>	Percentiles for the number of errors							
			1st	2nd	5th	10th	15th	25th	50th	95th
CTT1 errors	50-69	85	1	1	0	0	0	0	0	0
	>70	76	2	2	1	0	0	0	0	0
CTT2 near-misses	50-69	85	2	1	1	0	0	0	0	0
	>70	76	3	3	1	1	1	0	0	0
Interference Index	50-69	85	2.82	2.56	1.86	1.68	1.60	1.25	0.91	0.25
	>70	76	4.51	3.65	2.57	2.17	2.03	1.66	1.26	0.36

Table 6. Percentiles for error scores stratified for age and years of education ($n=169$)

Measures	Age	Education	n	Percentiles for the number of errors							
				1st	2nd	5th	10th	15th	25th	50th	95th
CTT2 number errors	50-	0-12	28	1	1	1	0	0	0	0	0
		<13	57	1	1	0	0	0	0	0	0
		0-12	28	1	1	1	1	1	1	0	0
		<13	48	1	1	1	0	0	0	0	0

References

- Agranovich, A. V., & Puente, A. E. (2007). Do Russian and American normal adults perform similarly on neuropsychological tests? *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(3), 273-282. doi:10.1016/j.acn.2007.01.003
- Agranovich, A. V., Puente, A. E., & Touradji, P. (2011). The Culture of Time in Neuropsychological Assessment: Exploring the Effects of Culture-Specific Time Attitudes on Timed Test Performance in Russian and American Samples. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(4), 692-701. doi:10.1017/S1355617711000592
- Amieva, H., Belin, C., & Maillet, D. (2016). *L'évaluation neuropsychologique : de la norme à l'exception*: De Boeck Supérieur.
- Bergman, I., & Almkvist, O. (2015). Neuropsychological test norms controlled for physical health: does it matter? *Scandinavian journal of psychology*, 56(2), 140-150. doi:10.1111/sjop.12170
- Bridges, A. J., & Holler, K. A. (2007). How Many is Enough? Determining Optimal Sample Sizes for Normative Studies in Pediatric Neuropsychology. *Child Neuropsychology*, 13(6), 528-538. doi:10.1080/09297040701233875
- Busch, R. M., Chelune, G. J., & Suchy, Y. (2006). Using Norms in Neuropsychological Assessment of the Elderly. In *Geriatric neuropsychology: Assessment and intervention*. (pp. 133-157). New York, NY, US: Guilford Publications.
- Colombo, F. o., Amieva, H. l. n., Lecerf, T., & Verdon, V. (2016). La norme en neuropsychologie, un concept à facettes multiples. *Revue de neuropsychologie*, 8(1), 61. doi:10.3917/rne.081.0061
- D'Elia, L., Satz, P., Uchiyama, C. L., & White, T. (1996). *Color trails test : professional manual*. Odessa, Flor.: Psychological Assessment Resources.
- Elkin-Frankston, S., Lebowitz, B. K., Kapust, L. R., Hollis, A. M., & O'connor, M. G. (2007). The use of the Color Trails Test in the assessment of driver competence: Preliminary report of a culture-fair instrument. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(5), 631-635. doi:10.1016/j.acn.2007.04.004
- Gottesman, R. F. (2014). Midlife Hypertension and 20-Year Cognitive Change: The Atherosclerosis Risk in Communities Neurocognitive Study. *Jama Neurology*, 71(10), 1218.
- Government of Quebec. (2020). *Population estimates by age and sex, Québec, July 1, 1971 to 2020*. Institut de la statistique du Québec Retrieved from <https://statistique.quebec.ca/fr/document/population-et-structure-par-age-et-sexe-le-quebec/tableau/estimations-de-la-population-selon-lage-et-le-sexe-quebec#>

- Guilmette, T. J. (2020). American Academy of Clinical Neuropsychology consensus conference statement on uniform labeling of performance test scores. *Clinical Neuropsychologist, The, 34*(3), 437.
- Güleç, H., Kavakci, O., Yazici, M., & Küçükalioglu, C. (2006). The Reliability and Validity of the Turkish Color Trails Test in Evaluating Frontal Assessment Among Turkish Patients with Schizophrenia. *Düşünen Adam : Journal of Psychiatry and Neurological Sciences*.
- Hartman-Maeir, A., Bar-Haim Erez, A., Ratzon, N., Mattatia, T., & Weiss, P. (2008). The validity of the Color Trail Test in the pre-driver assessment of individuals with acquired brain injury. *Brain Injury, 22*(13-14), 994-998. doi:10.1080/02699050802491305
- Hogan, T. P., Parent, N., & Stephenson, R. (2017). *Introduction à la psychométrie* (2e édition. ed.). Montréal (Québec): Chenelière éducation.
- Hsieh, J., & Riley, N. (1998). Neuropsychological performance in the People's Republic of China: Age and education norms for four attention tasks. *Archives of Clinical Neuropsychology, 13*(1), 96-96. doi:10.1016/S0887-6177(98)90541-8
- Hsieh, J., & Tori, C. D. (2007). Normative data on cross-cultural neuropsychological tests obtained from Mandarin-speaking adults across the life span. *Archives of Clinical Neuropsychology, 22*(3), 283-296. doi:10.1016/j.acn.2007.01.004
- Indorewalla, K. K., Osher, J., Lanca, M., Kartik, R., Vaidya, N., & Moncata, S. (2020). A normative study of the Color Trails Test in the adult Indian population. *Applied neuropsychology. Adult, 1*-8. doi:10.1080/23279095.2020.1819279
- Jessen, F., Amariglio, R. E., Buckley, R. F., van der Flier, W. M., Han, Y., Molinuevo, J. L., . . . Wagner, M. (2020). The characterisation of subjective cognitive decline. *Lancet Neurol, 19*(3), 271-278. doi:10.1016/s1474-4422(19)30368-0
- Konstantopoulos, K., Issidorides, M., & Spengos, K. (2013). A Normative Study of the Color Trails Test in the Greek Population. *Applied Neuropsychology: Adult, 20*(1), 47-52. doi:10.1080/09084282.2012.670155
- Kudiaki, Ç., & Aslan, A. (2008). Executive Functions in a Turkish Sample: Associations with Demographic Variables and Normative Data. *Applied Neuropsychology, 15*(3), 194-204. doi:10.1080/09084280802324416
- Larouche, E., Potvin, O., Laforest, S., Bergeron, D., Laforce, R., Monetta, L., . . . Hudon, C. (2016). Normative Data for the Montreal Cognitive Assessment in Middle-Aged and Elderly Quebec-French People. *Archives of Clinical Neuropsychology, 31*(7), 819-826. doi:10.1093/arclin/acw076
- Larue, A., Romero, L. J., Ortiz, I. E., Chi Lang, H., & Lindeman, R. D. (1999). Neuropsychological Performance of Hispanic and Non-Hispanic Older Adults: An

- Epidemiologic Survey. *The Clinical Neuropsychologist*, 13(4), 474-486.
doi:10.1076/1385-4046(199911)13:04;1-Y;FT474
- Laveault, D., Grégoire, J., & Grégoire, J. (2014). *Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation* (3e éd. ed.). Bruxelles: De Boeck.
- Lee, T. M. C., & Cheung, P. P. Y. (2005). The relationship between visual-perception and attention in Chinese with schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 72(2-3), 185-193.
doi:10.1016/j.schres.2004.02.024
- Lezak, M. D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed. ed.). Oxford :: Oxford University Press.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., Hannay, H. J., & Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment, 4th ed.* New York, NY, US: Oxford University Press.
- Liu, K. P., Chan, C. C., Lee, T. M., & Hui-Chan, C. W. (2004). Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(9), 1403-1408.
doi:10.1016/j.apmr.2003.12.035
- Maj, M., D'Elia, L., Satz, P., Janssen, R., Zaudig, M., Uchiyama, C., . . . Chervinsky, A. (1993). Evaluation of two new neuropsychological tests designed to minimize cultural bias in the assessment of HIV-1 seropositive persons: A WHO study. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 8(2), 123-135. doi:10.1016/0887-6177(93)90030-5
- McGuinness, B., Barrett, S., Craig, D., Lawson, J., & Passmore, A. P. (2010). Attention deficits in Alzheimer's disease and vascular dementia. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 81(2), 157-159. doi:10.1136/jnnp.2008.164483
- McPherson, S., & Koltai, D. (2018). *A Practical Guide to Geriatric Neuropsychology*. Oxford, UNITED STATES: Oxford University Press, Incorporated.
- Messinis, L., Christodoulou, T., Panagiotopoulos, V., & Papathanasopoulos, P. (2011). Color Trails Test: Normative Data and Criterion Validity for the Greek Adult Population. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(4), 322-330.
doi:10.1093/arclin/acr027
- Mitrushina, M. N. (2005). *Handbook of normative data for neuropsychological assessment* (2nd ed ed.). New York: Oxford University Press.
- Narasimhalu, K., Effendy, S., Sim, C. H., Lee, J. M., Chen, I., Hia, S. B., . . . Tan, E. K. (2010). A randomized controlled trial of rivastigmine in patients with cognitive impairment no dementia because of cerebrovascular disease. *Acta Neurologica Scandinavica*, 121(4), 217-224. doi:10.1111/j.1600-0404.2009.01263.x

- Oosterhuis, H. E., van der Ark, L. A., & Sijtsma, K. (2016). Sample Size Requirements for Traditional and Regression-Based Norms. *Assessment*, 23(2), 191-202. doi:10.1177/1073191115580638
- Partington, J. E., & Leiter, R. G. (1949). Partington's Pathways Test. *Psychological Service Center Journal*, 1, 11-20.
- Pontón, M. O., Satz, P., Herrera, L., Ortiz, F., Urrutia, C. P., Young, R., . . . Namerow, N. (1996). Normative data stratified by age and education for the Neuropsychological Screening Battery for Hispanics (NeSBHIS): Initial report *. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 2(2), 96-104. doi:10.1017/S1355617700000941
- Rabelo, I. S. A., Pacanaro, S. V., Rossetti, M. d. O., Leme, I. F. A. d. S., Castro, N. R. d., Güntert, C. M., . . . Lucia, M. C. S. d. (2010). Color Trails Test: a Brazilian normative sample. *Psychology & Neuroscience*, 3(1), 93-99. doi:10.3922/j.psns.2010.1.012
- Rawlings, A. M., Sharrett, A. R., Schneider, A. L. C., Coresh, J., Albert, M., Couper, D., . . . Selvin, E. (2014). Diabetes in midlife and cognitive change over 20 years: the Atherosclerosis Risk in Communities Neurocognitive Study. *Annals of internal medicine*, 161(11), 785-793. doi:10.7326/M14-0737
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1993). *The Halstead-Reitan neuropsychological test battery : theory and clinical interpretation*. S. Tucson, Arizona: Neuropsychology Press.
- Sacktor, L. N., Nakasujja, B. N., Skolasky, B. R., Robertson, B. K., Musisi, B. S., Ronald, B. A., . . . Clifford, B. D. (2009). Benefits and risks of stavudine therapy for HIV-associated neurologic complications in Uganda. *Neurology*, 72(2), 165-170. doi:10.1212/01.wnl.0000339042.96109.86
- Salthouse, T. A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(5), 754-760. doi:10.1017/S1355617710000706
- Seron, X., & Van der Linden, M. (2014). *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte* (2e édition ed.). Paris: De Boeck-Solal.
- Sliwinski, M., Buschke, H., Stewart, W. F., Masur, D., & Lipton, R. B. (1997). The effect of dementia risk factors on comparative and diagnostic selective reminding norms. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 3(4), 317-326.
- Strauss, E., Spreen, O., & Sherman, E. M. S. (2006). *A compendium of neuropsychological tests : administration, norms, and commentary* (3rd ed ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics*: Pearson Education.

- Tavakoli, M., Barekatin, M., & Emsaki, G. (2015). An Iranian Normative Sample of the Color Trails Test. *Psychology & Neuroscience*, 8(1), 75-81. doi:10.1037/h0100351
- Thomann, A. E., Goettel, N., Monsch, R. J., Berres, M., Jahn, T., Steiner, L. A., & Monsch, A. U. (2018). The Montreal Cognitive Assessment: Normative Data from a German-Speaking Cohort and Comparison with International Normative Samples. *Journal of Alzheimer's disease : JAD*, 64(2), 643-655. doi:10.3233/JAD-180080
- Tyburski, E., Karabanowicz, E., Mak, M., Lebiecka, Z., Samochowiec, A., Pełka-Wysiecka, J., . . . Samochowiec, J. (2020). Color Trails Test: A New Set of Data on Cognitive Flexibility and Processing Speed in Schizophrenia. *Frontiers in psychiatry*, 11, 521. doi:10.3389/fpsy.2020.00521
- Van Vliet, P. (2012). Cholesterol and late-life cognitive decline. *Journal of Alzheimer's Disease*, 30(SUPPL.2), S147-S162. doi:10.3233/JAD-2011-111028
- Vogel, A., Stokholm, J., & Jørgensen, K. (2013). Performances on Symbol Digit Modalities Test, Color Trails Test, and modified Stroop test in a healthy, elderly Danish sample. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 20(3), 370-382. doi:10.1080/13825585.2012.725126
- Wright, B. C., Festa, R. J., Paik, C. M., Schmiedigen, R. A., Brown, R. T., Yoshita, R. M., . . . Stern, R. Y. (2008). White Matter Hyperintensities and Subclinical Infarction: Associations With Psychomotor Speed and Cognitive Flexibility. *Stroke*, 39(3), 800-805. doi:10.1161/STROKEAHA.107.484147

Discussion générale

Ce mémoire doctoral avait pour objectif de produire des données normatives du CTT auprès d'une population adulte et âgée franco-qubécoise. Plus spécifiquement, ce mémoire visait à évaluer l'influence de facteurs sociodémographiques sur la performance des individus à cette tâche. Les scores normalisés comprenaient le temps de complétion, l'index d'interférence et les scores d'erreur pour les CTT1 et CTT2. Un accent particulier a été mis sur la production de normes pour plusieurs scores d'erreurs du CTT (« presque erreur », « amorçage » et indice d'interférence) qui ne sont pas systématiquement rapportés dans les études normatives. De plus, ces types d'erreurs distincts sont ce qui fait du CTT une alternative possible au TMT, outre le fait qu'il a la prétention d'être « impartial » sur le plan culturel. Des régressions multiples linéaires ont été effectuées pour chaque condition en utilisant l'âge, l'éducation et le sexe comme prédicteurs.

Retour sur l'étude : méthodologie

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées afin de produire des standards normatifs. Dans la présente étude, une attention particulière a été portée sur l'évaluation de la distribution des données. La distribution des temps de complétion aux CTT1 et CTT2 était asymétrique et une transformation logarithmique a été effectuée afin de normaliser la courbe de distribution des données. L'objectif de cette transformation était de répondre aux critères d'utilisation d'une analyse de régression. Subséquemment, des modèles de régressions incluant les variables sociodémographiques ont été réalisés afin de déterminer la contribution potentielle de chacune des variables. Pour les scores dont la distribution des données était très asymétrique et pour lesquels une transformation logarithmique n'était pas réalisable, la méthode de normalisation privilégiée était celle des rangs centiles alors que cette technique n'est pas dépendante du type de distribution. Les données ont ensuite été stratifiées en fonction de l'âge et du niveau de scolarité. La stratification a été effectuée en tentant de conserver un nombre le plus adéquat possible de participants dans chaque strate. Le choix de ses deux types de méthodologie et d'analyse pour produire un standard

normatif a pour objectif de permettre l'élaboration de normes les plus justes considérant la distribution des données.

Retour sur l'étude : principaux résultats et interprétations

L'échantillon normatif final est composé de 169 participants vivant dans la communauté (59 hommes et 102 femmes), âgés entre 50 et 90 ans, ayant entre 6 et 21 ans d'éducation formelle. Environ les 2/3 de l'échantillon sont représentés par des femmes. Les participants très scolarisés dans les tranches d'âge 60-69 et 70-79 sont surreprésentés dans notre échantillon par rapport à la démographie réelle du Québec (Gouvernement du Québec, 2020).

Comme prévu, l'âge s'est avéré être associé au temps de complétion des CTT1 et CTT2, ce qui est généralement conforme aux résultats obtenus par les études normatives précédentes sur les performances du CTT (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Riley, 1998; Hsieh & Tori, 2007; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue et al., 1999; Messinis et al., 2011; Pontón et al., 1996; Rabelo et al., 2010; Tavakoli et al., 2015; Vogel et al., 2013). Les participants plus âgés ont mis plus de temps à terminer le test que les participants plus jeunes. Une diminution de la vitesse de traitement de l'information est observée avec le vieillissement normal et cela peut être démontré par un ralentissement des performances avec l'âge (Tavakoli et al., 2015 ; Vogel et al., 2013). Les résultats de la présente étude montrent également que l'âge explique une plus grande proportion de la variabilité des performances en CTT2 qu'en CTT1. Cette différence pourrait être interprétée en relation avec le fait que le CTT1 est moins exigeant sur le plan cognitif et que le CTT2 est plus exigeant en termes de capacités attentionnelles et exécutives (Mitrushina, 2005). De plus, en vieillissant, les fonctions exécutives d'une personne subissent des changements et, plus précisément, une diminution des mécanismes d'inhibition et de flexibilité (McPherson & Koltai, 2018). Par conséquent, comparativement aux individus plus jeunes, les personnes plus âgées sont moins performantes dans les tâches exécutives (Salthouse, 2010).

Les résultats de la présente étude montrent une contribution marginalement significative de l'éducation à la prédiction du temps de complétion au CTT1, mais pas en CTT2. Ces résultats ont également été partiellement confirmés dans l'étude de Vogel et ses collaborateurs (2013) qui a constaté que le temps de complétion pour le CTT2 n'était pas prédit par le niveau d'éducation. Cette étude a également été réalisée spécifiquement auprès d'un échantillon de participants âgés qui représentent la population cible de notre étude. Les résultats de la présente étude peuvent également mettre de l'avant l'utilisation interculturelle du CTT alors que l'utilisation de la couleur au lieu des lettres de l'alphabet dans le CTT2 permettrait de réduire l'influence du langage et du niveau d'éducation sur les performances des participants au test (D'Elia et al., 1996). En revanche, d'autres études ont trouvé une association entre le temps de complétion (CTT1 et CTT2) et l'éducation (Indorewalla et al., 2020; Messinis et al., 2011; Rabelo et al., 2010; Hsieh & Tori, 2007; Lee & Chan, 2000). Cependant, certaines études ont été réalisées auprès d'un échantillon ayant un très large éventail d'âge (p.ex. : 18 à 90 ans). Dans ces types d'études, la taille d'échantillon représentant les personnes âgées est souvent très petite. À titre d'exemple, la récente étude de normalisation du CTT de Indorewalla et al. (2020) est basée sur un échantillon de 669 participants âgés entre 18 et 69 ans. Or, la taille d'échantillon se situe sous la barre des cinq participants pour certaines tranches d'âges (60 à 69 ans) et niveau de scolarité (<15 ans). Également, dans une autre étude (Rabelo et al., 2010), l'échantillon de normalisation auprès des personnes âgées était de bonne taille (n = 295). En revanche, l'intervalle d'âge était très large (ex. : 60 ans et plus) et ne représentaient pas le déclin des performances qui est plus accentué auprès de cette population vieillissante. L'échantillon de notre étude pourrait mieux représenter cette population à cet égard et pourrait expliquer les résultats obtenus. Les résultats pourraient également être influencés par un biais d'échantillonnage alors qu'il est surreprésenté par des personnes très éduquées, et ce, même si l'analyse de régression tend à réduire cette influence. Ainsi, l'éducation pourrait expliquer moins de variance dans les études normatives qui utilisent des échantillons avec des participants significativement plus éduqués.

Des résultats relativement controversés ont été trouvés concernant la contribution du sexe des participants dans la prédiction de la performance au CTT. La présente étude n'a trouvé aucun effet du sexe sur la performance du CTT, ce qui a été démontré dans les précédentes études (D'Elia et al., 1996; Hsieh & Tori, 2007; Konstantopoulos, Issidorides, & Spengos, 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Larue, Romero, Ortiz, Chi Lang, & Lindeman, 1999; Messinis, Christodoulou, Panagiotopoulos, & Papatathanasopoulos, 2011; Pontón et al., 1996; Tavakoli, Barekatin, & Emsaki, 2015). Une étude de Rabelo et al. (2010) a toutefois trouvé une différence significative dans le temps d'exécution entre les hommes et les femmes. Dans les deux parties du CTT, les hommes ont eu de meilleures performances que les femmes. Messinis et ses collaborateurs (2011) ont également trouvé une contribution significative (mais faible) du sexe à la prédiction du temps (secondes) sur le CTT1. Cependant, une telle contribution n'a pas été trouvée sur le CTT2. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour faire la lumière sur la contribution du sexe des individus sur leurs performances au CTT.

Peu d'études ont proposé des données normatives pour le nombre d'erreurs CTT et l'indice d'interférence (D'Elia et al., 1996; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008; Tavakoli et al., 2015). Pourtant, les erreurs au CTT sont couramment observées après une lésion cérébrale (Kudiaki & Aslan, 2008) et peuvent être utiles pour une meilleure interprétation de la performance (Konstantopoulos et al., 2013). Dans notre étude, l'âge était positivement corrélé avec les scores d'erreur du CTT1 erreurs, du CTT2 erreur de chiffre et du CTT2 « presque erreur ». Plus précisément, être plus âgé était associé à des scores d'erreurs plus élevés dans ces variables respectivement. Ces résultats sont cohérents avec les études précédentes (D'Elia et al., 1996; Konstantopoulos et al., 2013; Kudiaki & Aslan, 2008). L'éducation n'était associée qu'au CTT2 erreur de chiffre, ce qui est cohérent avec une autre étude (Konstantopoulos et al., 2013). Enfin, l'âge s'est avéré être associé à l'indice d'interférence, les personnes plus âgées présentant un effet d'interférence plus élevé. Cela signifie que les personnes âgées ont pris beaucoup plus de temps pour terminer le CTT2 que le CTT1. Cet indice d'interférence est utilisé pour quantifier la différence

quant à l'influence respective de l'attention visuelle et du suivi perceptuel du CTT1 comparativement à l'attention divisée et la flexibilité mesurée dans le CTT2. Ainsi, il est attendu qu'avec l'avancer en âge, une augmentation du temps de complétion au CTT2 puisse être observé en raison de la complexité et du nombre plus élevé de distracteurs dans CTT2. Ces résultats sont cohérents avec l'étude D'Elia et al., 1996, alors qu'une étude n'a trouvé aucune corrélation significative entre l'âge et l'indice d'interférence (Konstantopoulos et al., 2013). Finalement, la distribution asymétrique de tous les scores d'erreur a nécessité l'utilisation des rangs centiles. Selon Bridges et Holler (2007), un échantillon de 50 participants pour chaque sous-groupe est suffisant pour obtenir une mesure adéquate. En ce sens, pour la majorité des scores d'erreurs, une taille d'échantillon adéquate a été produite dans chaque strate. Cependant, pour le CTT2 erreurs de chiffre, le clinicien doit rester vigilant dans son interprétation, car la taille de l'échantillon dans certaines catégories d'âge et de niveau d'éducation est inférieure à 50.

Forces et limites

Ce mémoire doctoral présente quelques limites. Tout d'abord, l'utilisation d'un échantillon de convenance peut diminuer la représentativité de l'échantillon. La plupart des études de normalisation recrutent des participants sur une base volontaire, et ce, particulièrement en raison des difficultés de recrutement de certaines populations (Amieva et al., 2016; Hogan et al., 2017). Ainsi, d'autres méthodes d'échantillonnage de type probabiliste offriraient une meilleure représentativité auprès de la population. Or, ces types de méthode sont souvent difficilement applicable dans le contexte clinique alors que les participants de recherche présentent souvent un profil sociodémographique particulier (Amieva et al., 2016). L'utilisation d'un échantillon de convenance peut donc avoir la limite de surreprésenter une partie de la population (Amieva et al., 2016; Laveault et al., 2014). Dans la présente étude, un plus petit nombre de participants est présent dans les catégories d'âge entre 50-60 ans et 80 ans et plus. Cela peut entraîner une sous-représentation dans ces catégories d'âge et donc une plus grande variabilité de score peut être présente. En tant que tels, les résultats doivent être interprétés avec prudence chez les individus appartenant aux groupes d'âge les plus jeunes (50-59) et les plus âgés (80+). Aussi, les personnes plus

scolarisées (13 ans et plus) sont surreprésentées dans notre échantillon. Enfin, l'échantillon actuel contenait plus de femmes que d'hommes. Cependant, étant donné que le sexe n'a pas eu d'effet significatif sur l'exécution des tâches, les résultats actuels semblent également généralisables. L'échantillonnage de la présente étude est un point de départ dans l'établissement de normes du CTT pour la population franco-québécoise qui étaient, jusqu'à maintenant, inexistantes.

Il est également possible que les normes ne soient pas représentatives des Québécois habitant dans d'autres régions que celle de la ville de Québec et ses environs. En effet, les participants de l'échantillon de la présente étude ont été recrutés à Québec seulement. Or, des études normatives auprès de plusieurs cultures différentes ont montré que la région d'habitation (rurale vs urbaine) exerçait une influence sur les performances cognitives (Gupta et al., 2011; Melikyan, Puente, & Agranovich, 2021; Saenz, Downer, Garcia, & Wong, 2018). D'ailleurs, le fait de résider en milieu urbain est un facteur susceptible de favoriser l'obtention de meilleurs scores à un test cognitif. Plus spécifiquement au CTT, une étude a mis en évidence que les gens habitant en milieu urbain étaient plus rapides au CTT1 que ceux habitant en milieu rural (Gupta et al., 2011). De manière générale, la population urbaine obtient de meilleures performances aux tests neurocognitifs dans plusieurs domaines notamment la vitesse de traitement de l'information ainsi que les fonctions exécutives. Ces différences s'expliquent en partie par les opportunités de stimulation cognitive et sociale qui diffèrent entre les deux régions. En effet, en milieu rural, les habitants auraient de plus faibles opportunités de scolarisation, un moins bon accès au système de santé (particulièrement des problèmes de santé non détectés pouvant avoir une influence délétère sur la cognition) et moins d'opportunité d'emploi stimulant sur le plan cognitif (Gupta et al., 2011; Melikyan et al., 2021; Saenz et al., 2018). Ainsi, dans ce contexte, l'importance du jugement clinique prend toute son importance face au choix du standard normatif le plus approprié pour évaluer la performance d'un client en fonction de l'objectif de l'évaluation et les questions qu'il tente de répondre (Busch et al., 2006).

Cette étude présente également des atouts importants. Un aspect original est l'approche de régression utilisée pour calculer les données normatives pour les temps de complétion des CTT1 et CTT2. Cette méthode normative a l'avantage de mieux estimer la performance attendue d'un participant compte tenu de ses caractéristiques personnelles, au lieu de normes discrètes créées en utilisant des groupes d'âge arbitraires. Contrairement aux méthodes traditionnelles, dont celles qui utilisent les rangs centiles ou les moyennes, la méthode de régression considère le processus continu des variables étudiées (âge et éducation) (Oosterhuis et al., 2016). De ce fait, la méthode de régression permet de minimiser cet effet en contrôlant le poids des variables intégrées. Or, en utilisant une méthode de normalisation plus traditionnelle, les variables continues, telles que l'âge et l'éducation, doivent être divisées en catégories qui définissent des groupes distincts de normes. Dans les études normatives traditionnelles, l'échantillon est souvent divisé en plusieurs strates d'âge distinctes. Par conséquent, le statut relatif à la performance d'un individu peut changer considérablement lorsqu'il passe d'une catégorie d'âge à une autre (Mitrushina, 2005; Thomann et al., 2018). Dans les techniques traditionnelles, comme celle basée sur les rangs centiles, des tranches d'âge plus restreintes sont établies pour pallier cette limite (p. ex. : 60 à 65 ans plutôt que 60 à 69 ans). Cependant, cette sous-division peut introduire des tailles d'échantillon plus petites dans chacune des catégories, produisant ainsi des normes qui ont une moins bonne précision. Par conséquent, cette méthode de normalisation nécessite de recruter de très grandes tailles d'échantillons afin d'avoir un nombre suffisant de participants dans chaque strate d'âge, de niveau d'éducation et/ou encore du sexe (Oosterhuis et al., 2016). En revanche, des chercheurs ont conclu que l'utilisation d'une technique de régression nécessiterait un échantillon de participants plus petit (2,5 à 5,5 fois plus petit) que les techniques traditionnelles (Oosterhuis et al., 2016). Dans la présente étude, une taille d'échantillon de 169 participants est donc considérée comme suffisante pour produire une puissance statistique satisfaisante et une stabilité des résultats. Dans la présente étude, le choix a été fait d'utiliser une méthode de régression linéaire en particulier afin de tenir compte du poids de chaque variable. Ceci étant dit, d'autres méthodes d'analyses statistiques pourraient être considérées advenant le cas d'un échantillon normatif plus important telles que la régression polynomiale ainsi que la méthode de validation croisée (Gary et al., 2021).

Également, dans plusieurs études normatives, la taille de l'échantillon de certains groupes d'âge et/ou niveau d'éducation est trop petite (Mitrushina, 2005). Plus spécifiquement, de petites tailles d'échantillon sont observées auprès d'une population âgée et très âgée (Busch et al., 2006). Par exemple, la taille de l'échantillon normatif MOANS pour le Trail Making Test diminue à 50 participants pour la tranche d'âge 56 à 79 ans et à seulement 5 pour la tranche de 90 à 95 ans (Busch et al., 2006). L'accès insuffisant aux ressources nécessaires pour collecter des données de normalisation à partir de grands échantillons est entre autres rapporté comme freins à l'élaboration de données normatives auprès de cette population (Fellows & Schmitter-Edgecombe, 2019). Ainsi, comme le processus de recrutement des participants pour les études de standardisation peut être laborieux, en particulier parmi la population très âgée et peu éduquée, la régression peut fournir des éléments de solution à ce problème en maximisant la taille de l'échantillon. D'ailleurs, des études tendent à démontrer que la technique de régression est plus efficiente qu'un processus de normalisation traditionnelle, car elle permet de prendre en compte l'entièreté de l'échantillon comparativement à la division en sous-groupe (Busch et al., 2006; Oosterhuis et al., 2016), ce qui favorise une certaine stabilité des données. À titre d'exemple, dans une récente étude normative du test neuropsychologique SDMT (Symbol Digit Modalities Test), Fellows et ses collaborateurs (2019) ont comparé la sensibilité à détecter un déficit entre les nouvelles données normatives produites avec une méthode de régression et les données normatives originales. Leurs résultats démontrent que comparativement aux méthodes de normalisation traditionnelles, les normes basées sur la régression ont classé plus de participants comme atteints, et ce, tant dans la condition orale qu'écrite. Ces résultats concordent également avec celle d'autres études (Burggraaff, Knol, & Uitdehaag, 2017; Parmenter, Testa, Schretlen, Weinstock-Guttman, & Benedict, 2010) et tendent à démontrer l'utilité des normes basées sur la régression pour déterminer plus précisément le niveau de performance estimé d'un individu aux tests cognitifs.

Pour illustrer la pertinence des équations de régression, imaginons une femme de 65 ans avec 12 ans d'études qui a terminé le CTT1 en 70 secondes et le CTT2 en 150 secondes. Premièrement, sur la base des équations de régression de la présente étude, les scores Z du patient seraient de -1,72 (4e rang centile) et de -2,16 (< 1er rang centile), pour CTT1 et CTT2, respectivement. Ces résultats semblent indiquer une lenteur indicative de la vitesse de traitement et/ou des difficultés de flexibilité cognitive. En ce qui concerne les différences culturelles, nous avons comparé les scores Z hypothétiques du premier patient (c'est-à-dire -1,72 et -2,16 pour CTT1 et CTT2, respectivement) à ceux obtenus à partir des données normatives les plus utilisées aux États-Unis, D'Elia (1996). Les différences sont impressionnantes. En effet, en utilisant les données normatives D'Elia (1996), cette femme de 65 ans obtiendrait une performance normale pour CTT1 ($Z = -0,8$; 21e rang centile) et un score un peu faible pour CTT2 ($Z = -1,1$; 14e rang centile). Maintenant, imaginons plutôt que cette femme qui a terminé le CTT1 en 70 s et le CTT2 en 150 s : (a) est âgée de 65 ans et a 7 ans d'études ou (b) est âgée de 75 ans et a 12 ans d'études. Sur la base des équations de régression, les scores Z pour les deux conditions CTT seraient de -1,46 et -1,96 (7e et 4e rang centile respectivement) pour le cas hypothétique (a) et de -1,34 et -1,51 (10e et 7e rang centile) pour le cas hypothétique (b), pour CTT1 et CTT2, respectivement. Les résultats pour le cas (b) indiquent une légère lenteur alors qu'il s'agit d'un indicateur de déficit pour la plus jeune femme (a). En utilisant les données normatives D'Elia (1996), le cas (a) obtient des scores plus élevés (38e rang centile ; $Z = -0,3$) ainsi que le patient (b) avec des scores Z -0,2 (42e rang centile) et -0,8 (21e rang centile) pour CTT1 et CTT2 respectivement. Les données normatives de la présente étude étaient à nouveau plus sensibles pour détecter les déficits de la vitesse de traitement psychomoteur ou des fonctions exécutives. Ces différents exemples mettent en évidence l'importance de développer des données normatives adaptées à la réalité culturelle et linguistique des individus franco-québécois. Ainsi, même avec un système de scolarisation assez similaire entre le Québec et les États-Unis, les résultats de la présente étude démontrent qu'il est possible que la performance aux tests soit divergente. D'ailleurs, même si le test a été développé dans une perspective transculturelle, d'autres études tendent à démontrer qu'il existe effectivement des différences entre les performances de différentes cultures, notamment en lien avec le temps de complétion de la tâche (Agranovich & Puente, 2007;

Agranovich et al., 2011; Hsieh & Riley, 1998; Messinis et al., 2011; Tavakoli et al., 2015; Vogel et al., 2013).

Une autre force de cette étude est l'utilisation de critères d'exclusion rigoureux afin de produire un échantillon normatif sain et dans le but de maximiser la sensibilité des normes pour détecter les performances déficitaires. L'utilisation d'un échantillon d'une population dite « normale » implique de sélectionner des participants avec des critères d'exclusion stricts. Dans la littérature, certains auteurs argumentent sur ce processus d'échantillonnage alors qu'il peut induire un échantillon de normalisation « super normal » (Amieva et al., 2016; Colombo et al., 2016; Thomann et al., 2018). Cependant, un échantillon basé sur la population générale serait moins approprié à une clientèle gériatrique (Thomann et al., 2018). Considérant l'augmentation de la prévalence des troubles cognitifs légers (TCL) avec l'âge, la probabilité d'inclure des personnes atteintes d'un TCL dans un échantillon basé sur la population générale augmente également (Petersen et al., 2018; Thomann et al., 2018). Dans la présente étude, les personnes présentant des plaintes cognitives subjectives ont également été exclues à l'aide d'un questionnaire, éliminant ainsi les participants susceptibles de développer un TCL (voir Annexe A). En effet, le but généralement visé dans les études normatives est de fournir une norme quant au fonctionnement cognitif des individus en bonne santé pour faciliter la détection d'un trouble cognitif chez autrui. De plus, avec l'âge, plusieurs maladies chroniques sont susceptibles d'apparaître et donc d'influencer davantage le fonctionnement cognitif des personnes âgées (Bergman & Almkvist, 2015; Lezak et al., 2004). Entre autres, des études ont montré que le cholestérol (Van Vliet, 2012), le diabète (Rawlings et al., 2014), l'hypertension (Gottesman, 2014) et d'autres maladies chroniques ont des effets délétères sur la cognition. Par conséquent, l'inclusion de personnes ayant des problèmes de santé pouvant affecter le fonctionnement cognitif pourrait réduire la sensibilité des données normatives (Bergman & Almkvist, 2015; Busch et al., 2006; Sliwinski et al., 1997).

À titre d'exemple, les disparités observées entre les données normatives de la présente étude et celles provenant des États-Unis peuvent également être dues à des différences dans les échantillons normatifs. Dans l'échantillon normatif D'Elia et ses collaborateurs (1996), certaines informations sont manquantes quant aux critères d'exclusion. Plus spécifiquement, les critères d'exclusion concernant la présence de trouble neurocognitif ne sont pas explicitement décrits et questionne quant à l'inclusion potentielle de personnes ayant un TCL dans l'échantillon. Également, la collecte des données a été réalisée au début des années 1990, avant le développement et l'utilisation généralisée des troubles cognitifs légers (TCL) comme construit (Petersen, 2004; Petersen et al., 2009; Petersen et al., 1999). Ainsi, une proportion importante des personnes incluses dans l'étude de D'Elia avait probablement un TCL non détecté, en particulier dans les groupes plus âgés, considérant l'augmentation non négligeable de la prévalence du TCL avec l'âge (Petersen et al., 2018). Des normes mises à jour qui excluent les personnes atteintes de TCL sont nécessaires, car leur inclusion tend à réduire artificiellement la sensibilité des données normatives (Stricker et al., 2021). Dans la présente étude, les individus ayant un TCL et/ou une plainte cognitive subjective ont été exclus de l'échantillon normatif, ce qui peut avoir amélioré la sensibilité des nouvelles normes à détecter des déficits plus subtils. Ainsi, plusieurs éléments mettent en évidence que l'utilisation de critères d'exclusion auprès d'une population âgée permettrait dans une certaine mesure de maximiser la sensibilité des normes pour la détection de scores anormaux (Bergman & Almkvist, 2015).

Enfin, une autre force de la présente étude est la rigoureuse formation de tous les examinateurs. Ces derniers ont utilisé les mêmes instructions standardisées et ont tous été formés pour administrer le Color Trails Test. Également, une vérification supplémentaire a été effectuée auprès des protocoles de tests afin de s'assurer de la validité de chacun d'entre eux. Les protocoles dont l'administration était non valide ont été exclus de la présente étude.

Contributions scientifiques et cliniques

Tout au long de ce mémoire doctoral, un accent a été mis sur l'importance de produire des données normatives propre à une population et culture donnée. Plusieurs arguments et enjeux élaborés dans ce mémoire ont mis de l'avant la pertinence d'avoir des données normatives d'actualité, et ce particulièrement auprès d'une population plus âgée. En effet, nous devons à tort constater que les données normatives de tests neurocognitifs auprès d'une population âgée et très âgée sont peu nombreuses. Avec une population de plus en plus vieillissante et l'apparition de problèmes cognitifs reliés à l'âge, la production de données normatives pour cette population demeure d'une haute importance. La recherche réalisée dans le cadre de ce mémoire doctoral contribue à combler l'absence de données normatives pour le Color Trails Tests auprès d'une population adulte saine, franco-québécoise et âgée de 50 ans ou plus. L'élaboration des données normatives joue un rôle prépondérant dans l'interprétation des performances des clients à un test. Or, un problème est particulièrement prédominant dans l'évaluation neuropsychologique des personnes âgées. En effet, le développement de tests et des normes adaptées à cette population ont été lents à émerger, malgré l'intérêt croissant pour cette clientèle (Busch et al., 2006). Plusieurs problématiques peuvent être mises de l'avant pour expliquer ces enjeux rencontrés. En effet, certains auteurs font état d'importantes difficultés au plan du financement des études normatives (Busch et al., 2006; Mitrushina, 2005). Également, la nature « descriptive » des études, le manque de rayonnement de certains tests à plus grande échelle et l'appui minime de grandes agences de financement sont entre autres rapportés comme frein au développement de normes. Plus spécifiquement, des défis associés au recrutement des personnes âgées et très âgées sont aussi mis de l'avant (Busch et al., 2006). En effet, les participants très âgés ne sont souvent pas disposés à participer et rapportent souvent trop de critères qui les excluent des études. Ces éléments appuient davantage la pertinence de la présente étude alors qu'il existe un manque criant de données normatives auprès des personnes âgées et très âgées. Cela devrait également mettre l'accent sur l'importance de concentrer les efforts des recherches futures pour réaliser des études auprès de cette population.

Également, une attention particulière a été portée dans cette étude quant au choix des méthodes de normalisation. Les méthodes choisies avaient pour objectif de produire des données normatives ayant une meilleure spécificité dans la détection de déficits cognitifs. Un processus de réflexion quant au choix a été émis en fonction de ce qui était le plus approprié pour le type de distribution des données (normal ou asymétrique), ceci dans le but de minimiser le plus possible les erreurs d'interprétation. D'ailleurs, lors de la revue de la littérature, plusieurs études normatives ne faisaient pas mention du type de distribution des données de leurs échantillons, de même que la justification de la méthode de normalisation utilisée. Par conséquent, il est impossible pour le clinicien d'évaluer la pertinence de certaines normes dans un point de vue méthodologique. Or, cet aspect peut biaiser le raisonnement du clinicien quant aux choix des normes les plus appropriés. Ainsi, avec cette étude, le clinicien est à même de juger de la pertinence des normes pour ses clients. Également, l'approche normative basée sur la régression utilisée dans la présente étude offre le potentiel de fournir une référence plus précise en tenant compte simultanément de plusieurs variables démographiques et en exigeant des données de moins d'individus. Ainsi, cette étude contribue également à mettre de l'avant la pertinence d'utiliser une méthode de régression, et ce, particulièrement auprès des clientèles difficiles d'accès.

Ce projet contribue également à la crédibilité de la profession de neuropsychologue et leur fournit des données normatives supplémentaires pour produire une interprétation plus juste des performances de leurs clients. Les seules données normatives disponibles ayant une culture et un système d'éducation qui se rapproche le plus des Québécois sont celle fournie par D'Elia et ses collaborateurs (1996). Or, tel que mentionné dans ce mémoire, l'utilisation de normes désuètes peut engendrer d'important problème quant à l'interprétation des performances.

Conclusion

À notre connaissance, il s'agit de la première étude normative du Color Trails Test auprès d'une population adulte saine, franco-qubécoise et âgée de 50 ans ou plus. Les résultats de la présente étude suggèrent que l'âge est le meilleur prédicteur de la performance CTT par rapport aux niveaux d'éducation et au sexe. L'écart observé entre l'utilisation de données normatives de cette étude et celle des États-Unis, même s'ils utilisent un système d'éducation assez similaire, souligne l'importance d'utiliser des données normatives issues d'une culture propre au client. Cela met également en évidence l'importance de développer des données normatives ajustées à la réalité culturelle et linguistique des individus québécois-français. Cette étude contribue à l'absence de données normatives et permet de mieux outiller les cliniciens dans leur travail.

Bibliographie

- Agranovich, A. V., & Puente, A. E. (2007). Do Russian and American normal adults perform similarly on neuropsychological tests? *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(3), 273-282. doi:10.1016/j.acn.2007.01.003
- Agranovich, A. V., Puente, A. E., & Touradji, P. (2011). The Culture of Time in Neuropsychological Assessment: Exploring the Effects of Culture-Specific Time Attitudes on Timed Test Performance in Russian and American Samples. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(4), 692-701. doi:10.1017/S1355617711000592
- Amieva, H., Belin, C., & Maillet, D. (2016). *L'évaluation neuropsychologique : de la norme à l'exception*: De Boeck Supérieur.
- Amieva, H., Michael, G. A., & Allain, P. (2011). Les normes et leur utilisation. In C. Thomas-Antérion & E. Barbeau (Eds.), *Neuropsychologie en pratique(s)* (pp. 75-85). Marseille: Solal.
- Arguet, M., & Capel, A. (2018). Mieux comprendre les scores z pour bien les utiliser. *Rééducation Orthophonique*, 274, 61-85.
- Bergman, I., & Almkvist, O. (2015). Neuropsychological test norms controlled for physical health: does it matter? *Scandinavian journal of psychology*, 56(2), 140-150. doi:10.1111/sjop.12170
- Bernaud, J.-L. (2007). *Introduction à la psychométrie*. Paris: Dunod.
- Bridges, A. J., & Holler, K. A. (2007). How Many is Enough? Determining Optimal Sample Sizes for Normative Studies in Pediatric Neuropsychology. *Child Neuropsychology*, 13(6), 528-538. doi:10.1080/09297040701233875
- Burggraaff, J., Knol, D. L., & Uitdehaag, B. M. J. (2017). Regression-Based Norms for the Symbol Digit Modalities Test in the Dutch Population: Improving Detection of Cognitive Impairment in Multiple Sclerosis? *Eur Neurol*, 77(5-6), 246-252. doi:10.1159/000464405
- Busch, R. M., Chelune, G. J., & Suchy, Y. (2006). Using Norms in Neuropsychological Assessment of the Elderly. In *Geriatric neuropsychology: Assessment and intervention*. (pp. 133-157). New York, NY, US: Guilford Publications.
- Colombo, F. o., Amieva, H. l. n., Lecerf, T., & Verdon, V. (2016). La norme en neuropsychologie, un concept à facettes multiples. *Revue de neuropsychologie*, 8(1), 61. doi:10.3917/rne.081.0061
- D'Elia, L., Satz, P., Uchiyama, C. L., & White, T. (1996). *Color trails test : professional manual*. Odessa, Flor.: Psychological Assessment Resources.

- Dickinson, M., & Hiscock, M. (2011). The Flynn Effect in Neuropsychological Assessment. *Applied Neuropsychology*, *18*(2), 136-142.
- Drachman, A. D. (2006). Aging of the brain, entropy, and Alzheimer disease. *Neurology*, *67*(8), 1340-1352. doi:10.1212/01.wnl.0000240127.89601.83
- Elkin-Frankston, S., Lebowitz, B. K., Kapust, L. R., Hollis, A. M., & O'connor, M. G. (2007). The use of the Color Trails Test in the assessment of driver competence: Preliminary report of a culture-fair instrument. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *22*(5), 631-635. doi:10.1016/j.acn.2007.04.004
- Fellows, R. P., & Schmitter-Edgecombe, M. (2019). Symbol Digit Modalities Test: Regression-Based Normative Data and Clinical Utility. *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *35*(1), 105-115. doi:10.1093/arclin/acz020
- Finch, C. E. (2009). The neurobiology of middle-age has arrived. *Neurobiology of Aging*, *30*(4), 515-520. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2008.11.011
- Flynn, J. R. (1984). The mean IQ of Americans: Massive gains 1932 to 1978. *Psychological bulletin*, *95*(1), 29-51. doi:10.1037/0033-2909.95.1.29
- Gary, S., Lenhard, W., & Lenhard, A. (2021). Modelling Norm Scores with the cNORM Package in R. *Psych*, *3*(3), 501-521.
- Gottesman, R. F. (2014). Midlife Hypertension and 20-Year Cognitive Change: The Atherosclerosis Risk in Communities Neurocognitive Study. *Jama Neurology*, *71*(10), 1218.
- Government of Quebec. (2020). *Population estimates by age and sex, Québec, July 1, 1971 to 2020*. Institut de la statistique du Québec Retrieved from <https://statistique.quebec.ca/fr/document/population-et-structure-par-age-et-sexe-le-quebec/tableau/estimations-de-la-population-selon-lage-et-le-sexe-quebec#>
- Guilmette, T. J. (2020). American Academy of Clinical Neuropsychology consensus conference statement on uniform labeling of performance test scores. *Clinical Neuropsychologist, The*, *34*(3), 437.
- Güleç, H., Kavakci, O., Yazici, M., & Küçükalioglu, C. (2006). The Reliability and Validity of the Turkish Color Trails Test in Evaluating Frontal Assessment Among Turkish Patients with Schizophrenia. *Düşünen Adam : Journal of Psychiatry and Neurological Sciences*.
- Gupta, S., Vaida, F., Riggs, K., Jin, H., Grant, I., Cysique, L., . . . Heaton, R. K. (2011). Neuropsychological performance in mainland china: the effect of urban/rural residence and self-reported daily academic skill use. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *17*(1), 163-173. doi:10.1017/S1355617710001384

- Hartman-Maeir, A., Bar-Haim Erez, A., Ratzon, N., Mattatia, T., & Weiss, P. (2008). The validity of the Color Trail Test in the pre-driver assessment of individuals with acquired brain injury. *Brain Injury*, *22*(13-14), 994-998. doi:10.1080/02699050802491305
- Hogan, T. P., Parent, N., & Stephenson, R. (2017). *Introduction à la psychométrie* (2e édition. ed.). Montréal (Québec): Chenelière éducation.
- Hsieh, J., & Riley, N. (1998). Neuropsychological performance in the People's Republic of China: Age and education norms for four attention tasks. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *13*(1), 96-96. doi:10.1016/S0887-6177(98)90541-8
- Hsieh, J., & Tori, C. D. (2007). Normative data on cross-cultural neuropsychological tests obtained from Mandarin-speaking adults across the life span. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *22*(3), 283-296. doi:10.1016/j.acn.2007.01.004
- Indorewalla, K. K., Osher, J., Lanca, M., Kartik, R., Vaidya, N., & Moncata, S. (2020). A normative study of the Color Trails Test in the adult Indian population. *Applied neuropsychology. Adult*, 1-8. doi:10.1080/23279095.2020.1819279
- Jessen, F., Amariglio, R. E., Buckley, R. F., van der Flier, W. M., Han, Y., Molinuevo, J. L., . . . Wagner, M. (2020). The characterisation of subjective cognitive decline. *Lancet Neurol*, *19*(3), 271-278. doi:10.1016/s1474-4422(19)30368-0
- Konstantopoulos, K., Issidorides, M., & Spengos, K. (2013). A Normative Study of the Color Trails Test in the Greek Population. *Applied Neuropsychology: Adult*, *20*(1), 47-52. doi:10.1080/09084282.2012.670155
- Kudiaki, Ç., & Aslan, A. (2008). Executive Functions in a Turkish Sample: Associations with Demographic Variables and Normative Data. *Applied Neuropsychology*, *15*(3), 194-204. doi:10.1080/09084280802324416
- Larouche, E., Potvin, O., Laforest, S., Bergeron, D., Laforce, R., Monetta, L., . . . Hudon, C. (2016). Normative Data for the Montreal Cognitive Assessment in Middle-Aged and Elderly Quebec-French People. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *31*(7), 819-826. doi:10.1093/arclin/acw076
- Larue, A., Romero, L. J., Ortiz, I. E., Chi Lang, H., & Lindeman, R. D. (1999). Neuropsychological Performance of Hispanic and Non-Hispanic Older Adults: An Epidemiologic Survey. *The Clinical Neuropsychologist*, *13*(4), 474-486. doi:10.1076/1385-4046(199911)13:04;1-Y;FT474
- Laveault, D., Grégoire, J., & Grégoire, J. (2014). *Introduction aux théories des tests en psychologie et en sciences de l'éducation* (3e éd. ed.). Bruxelles: De Boeck.
- Lee, T. M. C., & Cheung, P. P. Y. (2005). The relationship between visual-perception and attention in Chinese with schizophrenia. *Schizophrenia Research*, *72*(2-3), 185-193. doi:10.1016/j.schres.2004.02.024

- Lezak, M. D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed. ed.). Oxford :: Oxford University Press.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., Hannay, H. J., & Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment, 4th ed.* New York, NY, US: Oxford University Press.
- Liu, K. P., Chan, C. C., Lee, T. M., & Hui-Chan, C. W. (2004). Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 85*(9), 1403-1408. doi:10.1016/j.apmr.2003.12.035
- Maj, M., D'Elia, L., Satz, P., Janssen, R., Zaudig, M., Uchiyama, C., . . . Chervinsky, A. (1993). Evaluation of two new neuropsychological tests designed to minimize cultural bias in the assessment of HIV-1 seropositive persons: A WHO study. *Archives of Clinical Neuropsychology, 8*(2), 123-135. doi:10.1016/0887-6177(93)90030-5
- Maj, M., Janssen, R., Satz, P., Zaudig, M., Starace, F., Boor, D., . . . Ndetei, D. (1991). The World Health Organization's cross-cultural study on neuropsychiatric aspects of infection with the human immunodeficiency virus 1 (HIV-1). Preparation and pilot phase. *The British journal of psychiatry : the journal of mental science, 159*, 351.
- Maj, M., Janssen, R., Starace, F., Zaudig, M., Satz, P., Sughondhabirom, B., . . . Sartorius, N. (1994). WHO Neuropsychiatric AIDS Study, Cross-sectional Phase I: Study Design and Psychiatric Findings. *Archives of General Psychiatry, 51*(1), 39-49. doi:10.1001/archpsyc.1994.03950010039006
- McDowd, J. M., & Shaw, R. J. (2000). Attention and aging: A functional perspective. In T. A. Salthouse & F. I. M. Craik (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed ed., pp. 221-292). Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- McGuinness, B., Barrett, S., Craig, D., Lawson, J., & Passmore, A. P. (2010). Attention deficits in Alzheimer's disease and vascular dementia. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry, 81*(2), 157-159. doi:10.1136/jnnp.2008.164483
- McPherson, S., & Koltai, D. (2018). *A Practical Guide to Geriatric Neuropsychology*. Oxford, UNITED STATES: Oxford University Press, Incorporated.
- Melikyan, Z. A., Puente, A. E., & Agranovich, A. V. (2021). Cross-Cultural Comparison of Rural Healthy Adults: Russian and American Groups. *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists, 36*(3), 359-370. doi:10.1093/arclin/acz071
- Messinis, L., Christodoulou, T., Panagiotopoulos, V., & Papathanasopoulos, P. (2011). Color Trails Test: Normative Data and Criterion Validity for the Greek Adult Population. *Archives of Clinical Neuropsychology, 26*(4), 322-330. doi:10.1093/arclin/acr027

- Mitrushina, M. N. (2005). *Handbook of normative data for neuropsychological assessment* (2nd ed ed.). New York: Oxford University Press.
- Narasimhalu, K., Effendy, S., Sim, C. H., Lee, J. M., Chen, I., Hia, S. B., . . . Tan, E. K. (2010). A randomized controlled trial of rivastigmine in patients with cognitive impairment no dementia because of cerebrovascular disease. *Acta Neurologica Scandinavica*, *121*(4), 217-224. doi:10.1111/j.1600-0404.2009.01263.x
- Nielson, K. A., Langenecker, S. A., & Garavan, H. (2002). Differences in the Functional Neuroanatomy of Inhibitory Control Across the Adult Life Span. *Psychology and Aging*, *17*(1), 56-71. doi:10.1037/0882-7974.17.1.56
- Oosterhuis, H. E., van der Ark, L. A., & Sijtsma, K. (2016). Sample Size Requirements for Traditional and Regression-Based Norms. *Assessment*, *23*(2), 191-202. doi:10.1177/1073191115580638
- Parmenter, B. A., Testa, S. M., Schretlen, D. J., Weinstock-Guttman, B., & Benedict, R. H. (2010). The utility of regression-based norms in interpreting the minimal assessment of cognitive function in multiple sclerosis (MACFIMS). *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *16*(1), 6-16. doi:10.1017/S1355617709990750
- Partington, J. E., & Leiter, R. G. (1949). Partington's Pathways Test. *Psychological Service Center Journal*, *1*, 11-20.
- Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. *Journal of Internal Medicine*, *256*(3), 183-194. doi:10.1111/j.1365-2796.2004.01388.x
- Petersen, R. C., Lopez, O., Armstrong, M. J., Getchius, T. S. D., Ganguli, M., Gloss, D., . . . Rae-Grant, A. (2018). Practice guideline update summary: Mild cognitive impairment: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, *90*(3), 126-135. doi:10.1212/wnl.0000000000004826
- Petersen, R. C., Roberts, R. O., Knopman, D. S., Boeve, B. F., Geda, Y. E., Ivnik, R. J., . . . Jack, C. R., Jr. (2009). Mild cognitive impairment: ten years later. *Archives of neurology*, *66*(12), 1447-1455. doi:10.1001/archneurol.2009.266
- Petersen, R. C., Smith, G. E., Waring, S. C., Ivnik, R. J., Tangalos, E. G., & Kokmen, E. (1999). Mild cognitive impairment: clinical characterization and outcome. *Archives of neurology*, *56*(3), 303-308.
- Pontón, M. O., Satz, P., Herrera, L., Ortiz, F., Urrutia, C. P., Young, R., . . . Namerow, N. (1996). Normative data stratified by age and education for the Neuropsychological Screening Battery for Hispanics (NeSBHIS): Initial report *. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *2*(2), 96-104. doi:10.1017/S1355617700000941

- Rabelo, I. S. A., Pacanaro, S. V., Rossetti, M. d. O., Leme, I. F. A. d. S., Castro, N. R. d., Güntert, C. M., . . . Lucia, M. C. S. d. (2010). Color Trails Test: a Brazilian normative sample. *Psychology & Neuroscience*, *3*(1), 93-99. doi:10.3922/j.psns.2010.1.012
- Rawlings, A. M., Sharrett, A. R., Schneider, A. L. C., Coresh, J., Albert, M., Couper, D., . . . Selvin, E. (2014). Diabetes in midlife and cognitive change over 20 years: the Atherosclerosis Risk in Communities Neurocognitive Study. *Annals of internal medicine*, *161*(11), 785-793. doi:10.7326/M14-0737
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1993). *The Halstead-Reitan neuropsychological test battery : theory and clinical interpretation*. S. Tucson, Arizona: Neuropsychology Press.
- Sacktor, L. N., Nakasujja, B. N., Skolasky, B. R., Robertson, B. K., Musisi, B. S., Ronald, B. A., . . . Clifford, B. D. (2009). Benefits and risks of stavudine therapy for HIV-associated neurologic complications in Uganda. *Neurology*, *72*(2), 165-170. doi:10.1212/01.wnl.0000339042.96109.86
- Saenz, J. L., Downer, B., Garcia, M. A., & Wong, R. (2018). Cognition and Context: Rural-Urban Differences in Cognitive Aging Among Older Mexican Adults. *Journal of aging and health*, *30*(6), 965-986. doi:10.1177/0898264317703560
- Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of Aging*, *30*(4), 507-514. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023
- Salthouse, T. A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *16*(5), 754-760. doi:10.1017/S1355617710000706
- Seron, X., & Van der Linden, M. (2014). *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte* (2e édition ed.). Paris: De Boeck-Solal.
- Sliwinski, M., Buschke, H., Stewart, W. F., Masur, D., & Lipton, R. B. (1997). The effect of dementia risk factors on comparative and diagnostic selective reminding norms. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *3*(4), 317-326.
- Strauss, E., Spreen, O., & Sherman, E. M. S. (2006). *A compendium of neuropsychological tests : administration, norms, and commentary* (3rd ed ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Stricker, N. H., Christianson, T. J., Lundt, E. S., Alden, E. C., Machulda, M. M., Fields, J. A., . . . Petersen, R. C. (2021). Mayo Normative Studies: Regression-Based Normative Data for the Auditory Verbal Learning Test for Ages 30-91 Years and the Importance of Adjusting for Sex. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *27*(3), 211-226. doi:10.1017/S1355617720000752
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics*: Pearson Education.

- Tavakoli, M., Barekatin, M., & Emsaki, G. (2015). An Iranian Normative Sample of the Color Trails Test. *Psychology & Neuroscience*, 8(1), 75-81. doi:10.1037/h0100351
- Thomann, A. E., Goettel, N., Monsch, R. J., Berres, M., Jahn, T., Steiner, L. A., & Monsch, A. U. (2018). The Montreal Cognitive Assessment: Normative Data from a German-Speaking Cohort and Comparison with International Normative Samples. *Journal of Alzheimer's disease : JAD*, 64(2), 643-655. doi:10.3233/JAD-180080
- Trahan, L. H., Stuebing, K. K., Fletcher, J. M., & Hiscock, M. (2014). The Flynn effect: a meta-analysis. *Psychological bulletin*, 140(5), 1332-1360. doi:10.1037/a0037173
- Tyburski, E., Karabanowicz, E., Mak, M., Lebiecka, Z., Samochowiec, A., Pełka-Wysiecka, J., . . . Samochowiec, J. (2020). Color Trails Test: A New Set of Data on Cognitive Flexibility and Processing Speed in Schizophrenia. *Frontiers in psychiatry*, 11, 521. doi:10.3389/fpsy.2020.00521
- Van Vliet, P. (2012). Cholesterol and late-life cognitive decline. *Journal of Alzheimer's Disease*, 30(SUPPL.2), S147-S162. doi:10.3233/JAD-2011-111028
- Vogel, A., Stokholm, J., & Jørgensen, K. (2013). Performances on Symbol Digit Modalities Test, Color Trails Test, and modified Stroop test in a healthy, elderly Danish sample. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 20(3), 370-382. doi:10.1080/13825585.2012.725126
- Wright, B. C., Festa, R. J., Paik, C. M., Schmiedigen, R. A., Brown, R. T., Yoshita, R. M., . . . Stern, R. Y. (2008). White Matter Hyperintensities and Subclinical Infarction: Associations With Psychomotor Speed and Cognitive Flexibility. *Stroke*, 39(3), 800-805. doi:10.1161/STROKEAHA.107.484147

Annexe A - Questionnaires pour évaluer la plainte cognitive subjective-Révisé (QEDCS-R)

Questionnaire pour évaluer la plainte cognitive subjective – Révisé (QEDCS-R)
(Adapté de Jessen et al., 2020)

1.	Est-ce que le fonctionnement de votre mémoire vous inquiète ou vous préoccupe?	Oui Non
1.1	Si oui, est-ce que cette préoccupation est constante au fil du temps?	Oui Non
2.	Avez-vous l'impression que vos capacités cognitives sont de moins en moins bonnes?	Oui Non
2.1	Avez-vous l'impression que votre mémoire était normale auparavant, mais que ce n'est plus le cas aujourd'hui ?	Oui Non
3.	Avez-vous remarqué une diminution de vos capacités à :	
3.1	(Mémoire) vous souvenir de certaines choses ?	Oui Non
3.2	(Attention) être attentif ou à penser clairement ?	Oui Non
3.3	(Exécutif) vous organiser ou à planifier ?	Oui Non
3.4	(Langage) entretenir des conversations ou à trouver vos mots ?	Oui Non
3.5	(Perceptivo-moteur) Êtes-vous plus maladroit qu'avant ? Avez-vous des difficultés à faire des tâches manuelles ?	Oui Non
S'il y a au moins un OUI aux questions 2 et 3, poursuivre pour préciser :		
4.	Depuis combien de mois ou d'années observez-vous ce changement ?	
5.	Est-ce que ce changement s'est produit soudainement ou graduellement?	
6.	Quel âge aviez-vous lors de l'apparition de ces difficultés ?	
7.	Est-ce que cette diminution de vos capacités cognitives a un impact dans votre vie ?	Oui Non
8.	Avez-vous l'impression que votre mémoire est moins bonne que celle des personnes de votre âge?	Oui Non
9.	Est-ce qu'un de vos proches a observé les mêmes difficultés que vous rapportez ?	Oui Non
10.	Avez-vous déjà consulté un médecin (ou un autre professionnel) par rapport à ces plaintes ?	Oui Non
11.	Si oui à la question 10, précisez le diagnostic reçu :	
12.	Si oui à la question 10, précisez si une médication a été prescrite et laquelle :	

Plainte significative (cocher si applicable) :

SCD « amnésique » : Oui aux questions suivantes : 2, 2.1, 3.1 et 8.

SCD plus : Oui aux questions 1, 1.1, 2, 2.1, 3.1, 8, 9, 10 et depuis moins de 5 ans à la question 4 ainsi que \geq 60 ans à la question 6.