

NCACN

Neuropsychologie
clinique et appliquée

Applied and Clinical
Neuropsychology

Rédactrices en chef | Editors-in-Chief

Patricia Nadeau, B. Sc., Université de Montréal
Gabrielle Ross, B. Sc., Université de Montréal

Éditrice en chef | Managing Editor

Marie-Ève Cadieux, B. Sc., Université de Montréal

Rédacteurs adjoints séniors | Senior Associate Editors

Élaine de Guise, Ph. D., Université de Montréal
Bruno Gauthier, Ph. D., Université de Montréal
Nathalie Gosselin, Ph. D., Université de Montréal
Arnaud Saj, Ph. D., Université de Montréal

Rédacteurs(-trices) adjoints(-es) | Associate Editors

Léa-Maude Juteau, Université de Montréal
Camille Bolduc-Boyer, Université de Montréal
India Rainville, Université de Montréal
Sarah Remigereau, Université de Montréal
Anaïs Gaudreau, Université de Montréal
Christine Boyadjian, Université de Montréal
Marie-Andrée Richard, B. Sc., Université de Montréal
Hugo Laflamme, M. Sc., Université de Montréal
Ariane Levesque, B. Sc., Université de Montréal
Noémie Duquennoi, M. Sc., Université de Montréal
Juvénal Bosulu, M. B. A., Université de Montréal

Éditeurs(-trices) consultants(-es) | Consulting Editors

Kassandra Roger, B. Sc., Université de Montréal
Marie-Michèle Paquette, B. Sc., Université de Montréal
Pénélope Pélland-Goulet, B. Sc., Université de Montréal
Caroll-Ann Blanchette, M. Sc., Université de Montréal
Hugo Laflamme, M. Sc., Université de Montréal
Caroline Dupont, B. Sc., Université de Montréal
Amélie Cloutier, M. Sc., Université de Montréal
Béatrice Bérubé, M. Sc., Université de Montréal

Neuropsychologie Clinique et Appliquée / Applied and Clinical Neuropsychology (NCACN) est une revue scientifique traitant de divers sujets en lien avec la neuropsychologie clinique ou appliquée. Sa mission consiste à permettre aux cliniciens(-ciennes) et aux chercheurs(-euses) dans le domaine de la neuropsychologie de faire la promotion de leurs idées originales et de partager leurs résultats de recherche. Il s'agit également d'offrir aux étudiants(-es) du premier cycle une chance unique de prendre part au processus de révision par les pairs.

Neuropsychologie Clinique et Appliquée / Applied and Clinical Neuropsychology (NCACN) is a scientific journal dealing with several topics regarding applied or clinical neuropsychology. Its mission is to allow researchers and clinical neuropsychologists to promote and publish their original ideas and research results. It is also about offering undergraduate students a unique opportunity to take part in the peer-review process.

Coordonnatrice des événements / Events Coordinator

Cyrielle Low-Kien, Université de Montréal

Trésorier(-rière) / Treasurers

Hugo Laflamme, M. Sc., Université de Montréal

Lyanne Levasseur Faucher, B. Sc., Université du Québec à Montréal

Directrice des communications / Communication Director

Lyanne Levasseur Faucher, B. Sc., Université du Québec à Montréal

Responsables des médias / Media Managers

Karla Alhazim, Université de Montréal

Tanya Joseph, Université de Montréal

Évaluateurs(-trices) de premier cycle / Undergraduate Reviewers

Karla Alhazim, Université de Montréal

Mariane Aumais, Université de Montréal

Monica Boulis, B. Sc., Université de Montréal

Frédérique Bourget, B. Sc., Université de Montréal

Ilay Celik, Université de Montréal

Sarah-Maude Coll, M. Sc., Université de Montréal

Manon Desforges, B. Sc., Université de Montréal

Tania Deshaies, Université de Montréal

Isabelle Deslandes, B. Sc., Université de Montréal

Teodora Drop, Université de Montréal

Hernanie Edm, Université de Montréal

Anaïs Gaudreau, Université de Montréal

Ana Paula Gonçalves, B. sc., Université de Montréal

Lara-Kim Huynh, B. Sc., Université de Montréal

Thierry Jean, Université de Montréal

Narges Kalantari, B. Sc., Université de Montréal

Valérie Langlois, Université de Montréal

Émilie Lannes, Université de Montréal

Yan Morin, Université de Montréal

India Rainville, Université de Montréal

Équipe de l'édition / Edition Team

Marie-Andrée Richard, B. Sc., Université de Montréal

Ariane Levesque, B. Sc., Université de Montréal

Noémie Duquennoi, M. Sc., Université de Montréal

Hugo Laflamme, M. Sc., Université de Montréal

Un merci spécial à / A special thanks to:

Olivier Girard-Joyal, B. Sc., Université de Montréal

Pour la refonte du site internet



Neuropsychologie
clinique et appliquée

Applied and Clinical
Neuropsychology

Volume 4
Hiver 2022 / Winter 2021

- 4 **Remerciements / Acknowledgments**
- 5 **Éditorial / Editorial**
P. Nadeau, B. Sc.
- 7 **Lettre des rédacteurs adjoints séniors / Letter from the Senior Associate Editors**
É. de Guise, Ph. D., B. Gauthier, Ph. D., N. Gosselin, Ph. D. & A. Saj, Ph. D.
- 9 **Processus de révision par les pairs / Peer-Review Process**
- 10 **Appréciation du degré de gravité en neuropsychologie et estimation de la capacité de travail**
V. Verdon, M.D. & A. Candal-Zürcher, M. Sc.
- 21 **Suivez mon regard : vers une utilisation de l'oculométrie en pratique clinique courante dans l'évaluation de la négligence spatiale unilatérale**
G. Wauquiez, M. Sc., F. Billebeau, M. Sc., J.-M. Casillas, Ph. D., D. Laroche, Ph. D. & M. Gueugnon, Ph. D.
- 29 **Assessment of verbal and visual episodic memory, post-concussive complaints, and their relationship following mild traumatic brain injury**
I. Kochbati, M. Sc., H. Audrit, M. Sc., M. Laguë-Beauvais, Ph. D., S. Tinawi, M.D. & É. De Guise, Ph. D.
- 43 **Pré-validation et normes préliminaires du Test de Hayling Junior pour évaluer l'inhibition verbale chez l'enfant francophone au Québec**
V. Racicot, J. Leclerc, Ph. D. & B. Gauthier, Ph. D.
- 60 **Séquelles cognitives, physiques et psychologiques à long terme de multiples commotions cérébrales : illustration par l'évaluation et la prise en charge d'un hockeyeur semi-professionnel**
C. Beni, Ph. D.
- 75 **Cognitive profile in anti-NMDAR encephalitis: Neuropsychological evaluation, rehabilitation, and evolution. A case report**
N. Montoro-Membila, A. Gómez-Camello, Dr., I. Villegas-Rodríguez, Dr., & M. Triviño-Mosquera, Ph. D.
- 85 **A multiple-case study testing the implementation of a non-aphasia-specific app into evidence-based therapy**
G. Python, Ph. D., G. Kretlow & D. Chélatat, M. Sc.
- 93 **Psychometric correlates of categorization: An exploratory study**
P. Louis, M. Véronneau, C. Prévost & S. Harnad

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier nos rédactrices en chef, Patricia Nadeau et Gabrielle Ross, pour leur sens de l'initiative et de l'organisation, leur bienveillance et leur engagement passionné. Nous remercions également notre Éditrice en chef, Marie-Ève Cadieux, pour son travail rigoureux, sa force et son efficacité. À elles trois, elles ont su mener ce projet avec brio. Nous remercions également tous les étudiants et étudiantes de premier cycle et des cycles supérieurs de l'Université de Montréal qui ont participé à la mise sur pied de la revue cette année; c'est grâce à vous que le volume 4 du NCACN voit le jour. Nous aimerions aussi remercier tous les membres du *Journal sur l'identité, les relations interpersonnelles et les relations intergroupes* qui nous ont aidés, que ce soit lors de la révision des manuscrits ou lors de leurs mise en page.

Un énorme merci également au Département de psychologie de l'Université de Montréal, sous la direction de Mme Michelle McKerral, pour leur soutien financier. De même, la diffusion de la revue NCACN ne serait pas possible sans vos contributions volontaires. Nous exprimons notre reconnaissance envers nos précieux partenaires, tel que la Société québécoise pour la recherche en psychologie. Nous tenons à souligner le travail exceptionnel d'Olivier Girard Joyal, Ph. D., dans la refonte complète de notre site internet. Nous remercions enfin Mme Florianne Louissaint, notre technicienne administrative, pour son rôle essentiel afin de mener ce projet à terme.

Acknowledgments

First of all, we would like to thank our Editor-in-Chiefs, Patricia Nadeau and Gabrielle Ross, for their initiative, their organizational skills, their goodwill and their passionate commitment. We also thank our Editor-in-chief, Marie-Ève Cadieux, for her rigorous work, her strength and her efficiency. The three of them were able to carry out this project brilliantly. We also thank all the undergraduate and graduate students from the Université de Montréal who participated in setting up this year's journal; it is thanks to you that the publication of the NCACN's fourth volume is possible. We would also like to thank all of the *Journal sur l'identité, les relations interpersonnelles et les relations intergroupes* members who assisted us with the revision and editing of the manuscripts.

We also wish to express our gratitude to the Department of psychology of the Université de Montréal, directed by Mrs. Michelle McKerral, for their financial support. Likewise, the dissemination of the NCACN journal would not be possible without your voluntary contributions. We are grateful for our collaboration with our precious partners, such as the *Société québécoise pour la recherche en psychologique*. We would like to highlight the exceptional work of Olivier Joyal, Ph. D., in the complete overhaul of our website. Finally, we thank Mrs. Florianne Louissaint, our administrative technician, for playing a key role in the achievement of this project.



Éditorial

Patricia Nadeau, B. Sc.

Université de Montréal

C'est avec joie et fierté que je vous présente le quatrième volume de la revue Neuropsychologie clinique et appliquée / Applied and Clinical Neuropsychology (NCACN). L'équipe d'étudiants(-es) de premier cycle et des cycles supérieurs du NCACN a à nouveau fait preuve d'engagement, de détermination et de talent. En effet, depuis maintenant cinq ans, le journal NCACN offre une occasion unique aux étudiants(-es) du baccalauréat et à présent au niveau de la maîtrise et du doctorat de vivre l'expérience de la publication scientifique. À travers la révision par les pairs, les étudiants(-es) ont l'opportunité d'évaluer et éditer des articles dans le domaine de la neuropsychologie clinique et appliquée.

Ces deux dernières années ont été synonymes de grands changements et périodes d'adaptation pour tous! Pour la revue, ces changements se sont traduits par l'accomplissement de divers projets qui nous tenait à cœur depuis de nombreuses années. Plus particulièrement, nous sommes heureux d'annoncer que nous avons réussi à effectuer l'attribution de *Digital Object Identifiers* (DOI) pour chacun des articles publiés au sein du journal. Ce type d'identification permet d'assurer une pérennité des articles en plus de faciliter l'utilisation de bases de données scientifiques. Cet ajout permet donc aux auteurs(-trices) publiant dans la revue du NCACN de facilement retrouver leur article en plus de fournir un suivi quant à son impact en fournissant une liste détaillée des auteurs(-trices) ayant cité leur travail. Ensuite, nous avons réussi à transférer le cours associé au NCACN du premier cycle aux cycles supérieurs pour ainsi permettre aux étudiants(-es) de la maîtrise et du doctorat en psychologie de l'Université de Montréal d'apprendre davantage sur le journalisme scientifique et d'acquérir des compétences associées à la révision par les pairs. Finalement, nous avons développé un nouveau site internet permettant un accès plus convivial aux volumes publiés et articles sous presse de la revue.

Depuis sa création, c'est avec grand bonheur que nous pouvons constater la contribution de la revue à l'enrichissement des connaissances en neuropsychologie, et ce au niveau international. Le 4^e volume du NCACN a reçu un total de 11 manuscrits provenant du Canada, de

la France, de la Suisse ainsi que de l'Espagne. De ces manuscrits, huit ont été acceptés et publiés dans ce volume, ce qui représente un taux de rejet de 27 %. À travers la publication d'articles scientifique en ligne de type libre accès, nous poursuivons notre effort de contribuer à un meilleur accès à la science.

Ayant comme objectif de publier des articles de qualité, comme chaque année, notre équipe éditoriale a eu l'occasion de suivre différentes formations. L'équipe éditoriale a été composée de 12 étudiants(-es) au premier cycle et de 12 autres aux cycles supérieurs. Je souhaite remercier le travail de tous ces membres qui a permis la publication de ce présent volume ainsi que la réalisation des différents projets. Mon implication au sein du journal a été très enrichissante et agréable, et tout cela grâce à la passion et au dévouement de tous les membres de la revue. J'aimerais souligner le travail exceptionnel de Marie-Ève Cadieux (éditrice en chef), Lyanne Levasseur Faucher (directrice des communications et trésorière), Hugo Laflamme (trésorier), Cyrielle Low-Kien (directrice des événements), Noémie Duquennoi, Ariane Lévesque et Marie-André Richer (responsables des communications).

Je tiens aussi à remercier spécialement les professeurs Arnaud Saj et Bruno Gauthier! Merci pour votre travail et votre soutien constant qui ont permis l'accomplissement de nos multiples projets. Finalement, je tiens à remercier les auteurs(-trices) qui ont décidé de s'aventurer dans cette expérience et qui ont su démontrer une grande compréhension face aux différents changements qui sont survenus au travers de ce volume.

À nos lecteurs, je vous souhaite une agréable lecture!

Editorial

Patricia Nadeau, B. Sc.

Université de Montréal



It is with joy and pride that I am presenting to you the fourth volume of the journal *Neuropsychologie clinique et appliquée / Applied and Clinical Neuropsychology* (NCACN). The NCACN team of undergraduate and graduate students once again showed commitment, determination, and talent. Indeed, for five years now, the NCACN journal has offered a unique opportunity to students at the undergraduate level and now at the master's and doctoral levels to experience scientific publication. Through peer review, students can evaluate and edit articles in the field of clinical and applied neuropsychology.

These last two years have been synonymous with changes and periods of adaptation for everyone! For the journal, these changes have resulted in the accomplishment of various projects that have been close to our hearts for many years. More specifically, we are pleased to announce that we have succeeded in assigning Digital Object Identifiers for each article published in the journal. This type of identification ensures the longevity of those articles and it facilitates the use of scientific databases. This addition, therefore, allows authors publishing in the NCACN journal to easily find their article and provide them with follow-ups on its impact by providing a detailed list of authors who have cited their work. Then, we successfully transferred the course associated with the NCACN from the undergraduate to the graduate level, allowing students of the master's and doctorate levels in psychology at the Université de Montréal to learn more about science journalism and to acquire skills associated with peer review. Finally, we have developed a new website allowing more user-friendly access to the journal's published volumes and articles in press.

Since its creation, it is with great pleasure that we can see the journal's contribution to the enrichment of knowledge in neuropsychology at the international level. The 4th volume of the NCACN received a total of eleven manuscripts from Canada, France, Switzerland, and Spain. Of these manuscripts, eight were accepted and published in this volume, representing a rejection rate of 27%. Through the publication of open access scientific articles online, we continue our effort to contribute to better

access to science.

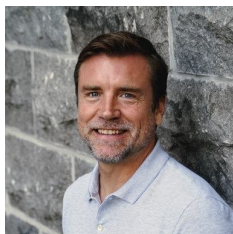
To publish quality articles, as every year, our editorial team had the opportunity to follow various training courses. The editorial team consisted of 12 undergraduate students and 12 graduate students. I wish to thank the work of all these members who have made the publication of this volume possible as well as the realization of the various projects. My involvement in the journal has been very rewarding and enjoyable, and all thanks to the passion and dedication of all the members. I would like to highlight the exceptional work of Marie-Ève Cadieux (managing editor), Lyanne Levasseur Faucher (director of communications and treasurer), Hugo Laflamme (treasurer), Cyrielle Low-Kien (director of events), Noémie Duquennoi, Ariane Levesque and Marie-André Richer (communications managers).

I would also like to thank Professors Arnaud Saj and Bruno Gauthier! Thank you for your constant support, which has enabled the accomplishment of our many projects. Finally, I would like to thank the authors who decided to venture into this experiment and who were able to demonstrate a great understanding of the various changes that have occurred through this volume.

To our readers, I wish you a pleasant reading!

Lettre des rédacteurs adjoints seniors

Nathalie Gosselin, Ph. D., Éleine de Guise, Ph. D., Bruno Gauthier, Ph. D., et Arnaud Saj, Ph. D.
Université de Montréal



Mais quelle année! La revue NCACN a subi de nombreuses métamorphoses depuis sa dernière parution. Malgré le contexte sanitaire, les autrices et auteurs ont continué à soutenir la revue par leurs contributions riches et variées, et toujours avec une rigueur scientifique et clinique. Nous sommes surtout fiers et fières de nos équipes composées de, en tête, Marie-Ève Cadieux, Patricia Nadeau, Gabrielle Ross, ainsi que toutes les rédactrices adjointes et tous les rédacteurs adjoints, les éditrices et éditeurs consultants, sans qui ce volume n'aurait pu voir le jour. Nos équipes ont fait un travail colossal pour permettre à la revue de passer dans une autre division du monde de la publication. En effet, nous sommes tous très fiers et fières de vous annoncer que le NCACN a désormais un *digital object identifier* (DOI). Cette nouvelle étape est en adéquation avec les valeurs prônées par la revue, c'est-à-dire l'appropriation des données probantes et le transfert bidirectionnel des connaissances entre cliniciens et chercheurs. Ce DOI permettra aux auteurs(-trices) d'obtenir un meilleur recensement de leur article dans les bases de données bibliographiques et de produire des citations plus fiables et plus pérennes. La seconde annonce est la refonte totale du site internet de la revue, avec un processus de soumission plus facile, un accès aux articles immédiatement après leurs acceptation et un accès aux archives. La troisième et dernière annonce est le basculement du niveau baccalauréat au cycles supérieurs du séminaire concernant la revue. Désormais, les éditrices et éditeurs consultants seront aux cycles supérieurs et le séminaire sera donné sur deux trimestres, allant de septembre à avril, permettant aux autrices et auteurs de soumettre leurs manuscrits toute l'année. Ceci est possible grâce au travail exceptionnel des étudiants(-es) de l'Université de Montréal ainsi qu'aux contributions financières du Département de psychologie de l'Université de Montréal, mais également grâce à vous, autrices et auteurs, lectrices et lecteurs.

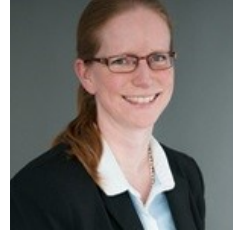
C'est avec enthousiasme que nous vous présentons ce quatrième volume comprenant huit excellents articles sous la forme d'études empiriques, d'études de cas cliniques ou de points de vue sur la pratique de la neuropsychologie. Ceux-ci touchent tant les volets de l'évaluation neuropsychologique que de l'intervention et ils couvrent toutes les tranches d'âges, avec une grande diversité de populations cliniques. Encore une fois, la revue NCACN a su aller au-delà de la francophonie avec la participation d'auteurs provenant d'Europe et d'Amérique du

Nord. Ce volume débute par la présentation d'une réflexion de nos collègues suisses sur l'«*Appréciation du degré de gravité en neuropsychologie et estimation de la capacité de travail*». Cet article détaille l'ensemble des critères afin d'améliorer la fiabilité inter-évaluateurs dans le processus d'évaluation de la gravité d'un trouble neuropsychologique et de sa répercussion fonctionnelle. La revue se poursuit avec l'article de l'équipe de Grégoire Wauquiez sur l'utilisation de l'*eye-tracker* dans l'évaluation de la négligence spatiale, l'utilisation de la technologie pour affiner le bilan et l'avenir de la neuropsychologie. L'article suivant de l'équipe d'Éleine de Guise s'intéresse au traumatisme crânien léger et à l'importance des tests neuropsychologiques pour objectiver les plaintes mnésiques. La section suivante concerne les enfants, avec un article d'une équipe québécoise qui présente la pré-validation et les normes préliminaires du *Test d'Hayling Junior* chez l'enfant francophone au Québec pour l'évaluation de l'inhibition verbale. Enfin, le volume se termine par la partie intervention en neuropsychologie avec deux cas cliniques et une étude de plusieurs cas. Le premier cas, présenté par Catia Beni, est celui de l'évaluation et de la prise en charge, chez un joueur de Hockey professionnel, des séquelles cognitives, physiques et psychopathologiques à long terme de multiples commotions cérébrales. Ensuite, le second cas, présenté par nos collègues espagnols, est l'étude d'une encéphalite, allant de l'évaluation à l'intervention. La dernière étude, présentée par l'équipe de Grégoire Python, montre qu'il n'y a actuellement aucune preuve que des applications prêtes à l'emploi soient plus efficaces que des applications permettant la création et l'adaptation du matériel et des tâches aux connaissances basées sur les preuves.

En conclusion, le quatrième volume regroupe toutes les sensibilités de la neuropsychologie : des points de vue clinico-pratiques, des nouvelles méthodes, des normes d'évaluation tant chez l'adulte que l'enfant, en plus d'y présenter son axe en essor, l'intervention neuropsychologique, illustrée par des méthodologies pratico-pratique. Nous espérons sincèrement que le contenu bonifiera vos connaissances et favorisera une réflexion sur vos approches d'évaluation et d'intervention, et ce, dans le but d'améliorer vos pratiques et d'offrir de meilleurs soins aux populations cliniques. Bonne lecture et au plaisir de peut-être aussi vous lire un jour !

Letter from the Senior Associate Editors

Nathalie Gosselin, Ph. D., Éleine de Guise, Ph. D., Bruno Gauthier, Ph. D., et Arnaud Saj, Ph. D.
Université de Montréal



What a year! The NCACN journal has also been through many changes since the last publication of Volume 3. Despite the health context, authors have continued to support the journal with their abundant and various contributions, but always with scientific and clinical rigor. Above all, we are proud of our teams, Marie-Ève Cadieux, Patricia Nadeau, Gabrielle Ross, and all of the assistant editors and the consulting editors, without whom this volume would not have been possible. Our team has done monumental work to allow the journal to move into another dimension of the publishing world. Indeed, we are all very proud to announce that the NCACN journal now has a digital object identifier (DOI). This new step is in adequacy with the values promoted by the Journal: Appropriation of the data and bidirectional transfer of knowledge between clinicians and researchers. This DOI will allow authors to have a better inventory of their articles in bibliographic databases, bibliographic management software, and to produce more reliable and durable citations. The second announcement is the complete re-design of the journal's website, with an easier submission process, access to articles immediately after their acceptance, and access to the archives (thanks Olivier Girard-Joyal). The third and final announcement is the transition from the Baccalaureate level to the higher levels of the seminar of the journal. From now on, the consulting editors will be at the Master's and Doctorate degrees and the seminar will be given in two semesters, from September to April, allowing authors to submit their manuscripts throughout the year. This is possible due to the exceptional work of the students of the Université de Montréal, the financial contribution of the Department of Psychology of the Université de Montréal, and you, the readers.

We are extremely enthusiastic about this 4th volume, which includes eight excellent articles. These articles cover both the neuropsychological evaluation and intervention domains. They cover all age categories, as well as a wide variety of clinical populations, in the format of empirical studies, clinical case studies, and points of view on the practice of neuropsychology. Once again, the NCACN journal has reached beyond the French-speaking world with the participation of authors from Europe and North America. Volume 4 starts with the presentation of a reflection of our Swiss colleagues on 'Assessment of severity in neuropsychology and estimation of work capacity. This article details the whole set of criteria to improve inter-rater reliability

in the process of evaluating the severity of a neuropsychological disorder and its functional impact. The journal then continues with an article by Grégoire Wauquiez's team, on the use of eye-tracking in the evaluation of spatial neglect, the use of technology to sharpen the results, and the future of neuropsychology. The following article by Éleine De Guise's team focuses on minor head trauma and the importance of neuropsychological tests to objectify memory complaints. The next section concerns children, with an article a Quebec team then presents a feasibility study for the validation and normalization of the Hayling Junior test on French-speaking children in Quebec for the evaluation of verbal inhibition. Finally, the volume ends with a neuropsychological intervention section with two clinical cases and a study of several cases. The first case presented by Catia Beni is the evaluation and management of the long-term cognitive, physical, and psychopathological sequelae of multiple concussions on a professional field hockey player. Then, the second case is the study of an encephalitis evaluation and intervention by our Spanish colleagues. The last study, by Gregoire Python's team, demonstrates that there is currently no evidence that ready-to-use applications are more efficacious than applications that allow the creation and the adaptation of materials and tasks with evidence-based knowledge.

In conclusion, the 4th volume brings together all the sensibilities of neuropsychology, clinical-practical points of view, new methods, evaluation standards for both adults and children, as well as the growing axis in neuropsychology and the intervention, illustrated by practical methodologies, all of which are very high quality. We sincerely hope that the content will enhance your knowledge and promote reflection on your approaches to evaluation and intervention to improve your practices and provide better care to clinical populations. Enjoy your reading, and we look forward to reading from you one day!



Processus de révision par les pairs

Le NCACN s'est basé sur le processus de révision par les pairs mis au point par le JIRIRI, c'est-à-dire un comité de pairs adapté aux étudiants universitaires de premier cycle. Chaque membre de l'équipe éditoriale possède des tâches précises, qui visent l'apprentissage et le développement de compétences liées au domaine de la publication scientifique.

L'équipe éditoriale est guidée par la rédactrice en chef et la cheffe d'édition, qui assurent le bon déroulement des processus de révision et de publication tout en respectant l'échéancier. Les rédacteurs adjoints sont responsables du processus de révision et de publication des manuscrits soumis, alors que les éditeurs consultants sont des étudiants aux cycles supérieurs qui supervisent les rédacteurs adjoints dans l'ensemble de leur travail.

Le processus de révision des manuscrits se déroule en trois étapes. D'abord, la rédactrice en chef amorce le processus en effectuant une sélection parmi les manuscrits soumis avec les rédacteurs adjoints seniors, puis assigne chacun d'eux à un rédacteur adjoint. Ce dernier doit alors rendre le manuscrit anonyme, puis s'assurer qu'il fasse l'objet d'une évaluation par des évaluateurs, des étudiants de premier cycle et aux cycles supérieurs.

Par la suite, le rédacteur adjoint, supervisé par un éditeur consultant, prend en charge l'intégration des évaluations reçues, afin de fournir à l'auteur une synthèse des commentaires par le biais d'une lettre d'édition. Tout ce travail est effectué sous la supervision des rédacteurs adjoints seniors, Éline de Guise, Ph. D., Bruno Gauthier, Ph. D., et Nathalie Gosselin, Ph. D., Arnaud Saj, Ph. D., en collaboration avec la rédactrice en chef. Finalement, une fois les commentaires intégrés, l'auteur peut soumettre une nouvelle version de son manuscrit. De nouveaux tours de révision se déroulent ainsi selon le même principe, jusqu'au moment où l'article est jugé convenable pour fin de publication.

Plus le processus de révision avance, plus les modifications exigées deviennent spécifiques et détaillées. Ainsi, le premier tour vise principalement à s'assurer de la contribution scientifique du manuscrit. Puis, les étapes subséquentes visent l'amélioration d'aspects précis tels que la correction des analyses statistiques. Durant la totalité du processus, l'équipe éditoriale s'engage à offrir de l'aide et du soutien aux auteurs. Grâce à la collaboration de toutes ces personnes, le NCACN peut atteindre ses objectifs et sa mission.

Peer-Review Process

The NCACN based itself on a peer-review process developed by the JIRIRI, which has been adapted for university undergraduate students. Each member of the NCACN team is responsible for specific tasks that aim at developing important skills in the field of scientific publication.

The Editorial Board is guided by the Editor-in-Chief and the Managing Editor, who ensure the smooth progress of the review process while respecting the various deadlines. The Associate Editors are responsible for the review and publication processes of the submitted articles, whereas the Consulting Editors supervise and guide the Associate Editors throughout the reviewing process.

The review process has three parts. First, the Editor-in-Chief makes a preliminary selection of the manuscripts and assigns one to each Associate Editor. The Associate Editor then makes the manuscript anonymous and ensures that it is reviewed by undergraduate and graduate students. Following the reception of the reviews, the Associate Editor, supervised by a Consulting Editor, integrates comments from Reviewers and summarizes the main

points in a letter addressed to the author. Everything is performed under the supervision of the Senior Associate Editors, Éline de Guise, Ph. D., Bruno Gauthier, Ph. D., Nathalie Gosselin, Ph. D., Arnaud Saj, Ph. D., and in collaboration with the Editor-in-Chief. Finally, once the comments have been addressed, the author can submit a new version of the manuscript. Several rounds of reviews may be undertaken until the manuscript is judged suitable for publication.

As the review process moves from the first to the last round, the comments and modifications required become more specific and detailed. At first, the reviewing process ensures the overall scientific contribution of the paper. Then, subsequent rounds are aimed at improving more precise and detailed aspects, such as statistical analyses. Throughout the entire process, the editorial team is readily available to offer help and support to the authors. Thanks to the collaboration of the entire team as well as the authors, the NCACN has been able to reach its goals and mission.

Appréciation du degré de gravité en neuropsychologie et estimation de la capacité de travail

Vincent Verdon^{1,2}, M.D. et Alexia Candal-Zürcher¹, M. Sc.

¹ Unité de neuropsychologie et logopédie, Réseau hospitalier neuchâtelois (RHNe), 2000 Neuchâtel, Suisse

² CEMEDEX, Centre médical d'expertises, 1700 Fribourg, Suisse

Cet article propose et présente un système d'évaluation permettant d'estimer le degré de gravité des troubles neuropsychologiques. Il englobe notamment des critères spécifiques permettant de déterminer l'intensité d'un trouble neuropsychologique et ses répercussions sur la capacité fonctionnelle et la capacité de travail. Cette nouvelle taxonomie s'appuie sur la table 8 de la Suva, destinée à évaluer les complications psychiques de lésions cérébrales en fonction de critères précis. Contrairement à la table 8 de la Suva, ce nouveau système d'évaluation est indépendant du lien de causalité établi selon la *Loi sur l'assurance accident* en Suisse. Cette indépendance lui permet d'être également utilisé dans d'autres contextes « asséurologiques » et pour diverses étiologies, tout en dépassant la dichotomie traditionnelle entre pathologies organiques et non organiques. Ce nouvel ensemble de critères vise aussi à améliorer la fiabilité interévaluateurs dans le processus d'évaluation de la gravité d'un trouble neuropsychologique et de sa répercussion fonctionnelle.

Mots-clés : neuropsychologie, trouble, normes de référence, rendement au travail, cognition

An assessment system for evaluating the severity of neuropsychological disorders is proposed and presented. It includes specific criteria for determining the severity of a disorder, which are in turn set in relation to the functionality and working ability of a patient or insured person. This new taxonomy is based on the criteria defined by Suva's table 8 that aims to assess psychological consequences of a brain injury. In contrast to Suva's table 8, this new assessment system is not related to any insurance context defined by the Swiss's *Accident Insurance Law*. It can thus be applied within the framework of other insurance contexts and for various etiologies, beyond the traditional organic and nonorganic dichotomy of pathologies. This new set of criteria shall provide a contribution towards further improvement of interrater reliability in the course of assessing the severity of neuropsychological disorders as well as assessing the functionality.

Keywords: neuropsychology, disorder, reference standards, work performance, cognition

Introduction

En tant que science dédiée à l'étude des relations entre le système nerveux central et le comportement en termes de fonctionnement cognitif, affectif et social, la neuropsychologie a toujours considéré les problématiques relatives au fonctionnement d'un individu dans la vie quotidienne et dans le milieu professionnel. Toutefois, au cours des dernières années, avec la complexification des systèmes « asséurologiques » (c.-à-d., le cadre de l'assurance) et l'essor des expertises médico-légales, le neuropsychologue est de plus en plus sollicité pour statuer sur les limitations fonctionnelles au travail lors d'une évaluation standard ou dans le contexte d'une expertise multidisciplinaire pour des assurances, appréciation qui soulève de nombreux questionnements et représente parfois un véritable défi. Dans ce contexte, cet article traite de la problématique rencontrée en neuropsychologie clinique pour attribuer un degré de gravité à un trouble

neuropsychologique, pour en apprécier l'impact sur la capacité fonctionnelle et pour en estimer la capacité de travail qui en découle. L'objectif est de proposer un système d'évaluation spécifique à la neuropsychologie qui soit également indépendant du cadre asséurologique et qui soit utilisable autant dans le cadre de l'expertise neuropsychologique que lors de consultations standards (c.-à-d., hors expertise). Les systèmes actuellement existants seront présentés avant d'aborder la démarche et les propositions du groupe de travail qui a élaboré les présents critères. Plusieurs aspects importants dans le contexte de la capacité de travail (p. ex., le rôle de la neuropsychologie et l'importance de la validité des symptômes) seront ensuite discutés.

Depuis la publication des critères de la table 8 de la Suva (2002), ces derniers sont utilisés à grande échelle, mais sans forcément toujours respecter les prérequis qui en constituent d'ailleurs les principales limitations. La table 8 de la Suva, également nommée « Atteinte à l'intégrité pour les complications psychiques des lésions cérébrales », a pour objectif d'aider le neuropsychologue dans l'évaluation de la gravité de l'impact des troubles consécutifs à une lésion cérébrale affectant la sphère cognitive ou d'autres facultés psychiques (c.-à-d., personnalité,

La correspondance concernant cet article doit être adressée à /
Correspondence concerning this article should be addressed to:

Vincent Verdon, spécialiste en neuropsychologie FSP et expert neuropsych/ologue certifié SIM.

Courriel/e-mail: vincent.verdon@rhne.ch

humeur et affect). À cette fin, elle propose une nomenclature qui précise un degré d'atteinte, allant d'une atteinte minimale de 0 % à une atteinte très grave de 100 %, accompagnée d'une brève description de la perturbation attendue des fonctions cognitives et des autres domaines psychiques. À titre d'illustration, une atteinte moyenne, correspondant à un degré d'atteinte à l'intégrité de 50 %, est décrite de la façon suivante :

Nette diminution des performances d'une ou plusieurs fonctions cognitives. L'attention, la mémoire et les fonctions exécutives sont presque toujours atteintes. Des troubles peuvent cependant intéresser d'autres secteurs fonctionnels. Généralement, on observe une nette altération de la personnalité. La pulsion, l'auto-initiative, l'affect, le sens critique et le comportement social sont isolément ou de façon combinée nettement altérés. (Suva, 2002, p. 3)

Historiquement, la pratique consistait à utiliser les critères de la table 8 de la Suva pour évaluer le degré de gravité d'un trouble neuropsychologique et pour mesurer l'atteinte à l'intégrité en cas de complications psychiques de lésions cérébrales. Ces critères ont conduit à une plus grande homogénéité des conclusions lors de l'évaluation du degré de sévérité des troubles neuropsychologiques et lors de l'appréciation des capacités fonctionnelles, c'est-à-dire à une amélioration de la fiabilité interévaluateurs sur l'ensemble du territoire national suisse. La table 8 de la Suva faisait également référence dans les ouvrages traitant de l'expertise (cf. Stöckli, 2007). Depuis leur publication en 2002, les critères de la table 8 de la Suva ont également été pris en compte pour l'évaluation du degré de gravité des déficits fonctionnels neuropsychologiques consécutifs à des maladies (c.-à-d., hors du contexte de l'assurance-accident), faute d'autres systèmes d'évaluation. Toutefois, la table 8 de la Suva connaît plusieurs limitations.

Premièrement, elle n'évalue pas le niveau d'invalidité ni le degré d'incapacité de travail (Suva, 2002). En effet, elle peut être utilisée pour estimer uniquement l'atteinte à l'intégrité en cas de troubles neuropsychologiques suite à des lésions cérébrales. Si le niveau d'atteinte à l'intégrité se définit obligatoirement au moyen de la table 8 de la Suva, il n'existe aucun système de classement concernant le niveau d'invalidité ou le degré d'incapacité de travail. Le niveau d'atteinte à l'intégrité ne correspond pas non plus nécessairement à un niveau d'invalidité ou à un degré d'incapacité de travail, ce qui prête à confusion et donne lieu à des malentendus, avec une tendance en pratique clinique à calquer le taux d'incapacité de travail sur le degré de gravité du trouble neuropsychologique de façon identique.

Un deuxième inconvénient de la table 8 de la Suva est qu'elle se rapporte exclusivement à des troubles neuropsychologiques durables et consécutifs à une atteinte cérébrale *organique* (c.-à-d., une lésion cérébrale structurale) causée par un accident et documentée médicalement. Sur cette base, il est aisé pour des personnes non expérimentées de conclure à tort que les déficits cognitifs n'existent qu'en cas de lésion(s) cérébrale(s) avérée(s) ou visible(s). Cependant, les déficits cognitifs peuvent également apparaître à la suite de pathologies somatiques sans lésion cérébrale visible (p. ex., lors de troubles métaboliques) et sont aussi présents dans presque toutes les maladies psychiques par définition *non organiques*, et notamment lors de troubles affectifs ou de troubles de la personnalité (cf. American Psychiatric Association, 2015; Lautenbacher & Gauggel, 2004). La dichotomie classique entre troubles psychiques dits organiques reposant sur un substrat physique, et troubles psychiques non organiques, sans substrat physique avéré, est ainsi problématique et peut être considérée à l'heure actuelle comme obsolète et artificielle. De plus, la distinction opérée dans la table 8 de la Suva entre les aspects cognitifs et psychiques entraînant une certaine atteinte ne propose pas de mesure objective, notamment sur le plan psychométrique, en laissant l'utilisateur apprécier de manière subjective ces aspects qui peuvent alors favoriser des différences d'appréciations selon les évaluateurs.

Une troisième limite de la table 8 de la Suva est qu'elle exige en préambule qu'une lésion organique soit la source de troubles durables, sans toutefois donner de précision sur cette durée. Or, les déficits cognitifs et autres troubles neuropsychologiques ne s'inscrivent pas obligatoirement dans la durée. Les déficits cognitifs fluctuants peuvent même constituer le symptôme majeur d'un tableau clinique (p. ex., démence à corps de Lewy) ou s'observer dans les intoxications (p. ex., prise de substance ou effets secondaires de médicaments). Hormis pour le lien de causalité établi par l'assurance, la nécessité d'un trouble qui s'inscrit dans la durée n'a pas lieu d'être, notamment avec la demande de documentation sur l'évolution d'un cas, une tâche importante dans la pratique clinique quotidienne des neuropsychologues. Par ailleurs, la jurisprudence évolue et les déficits cognitifs décrits par les patients avec troubles psychiques dits non organiques ne doivent plus être considérés comme des symptômes non authentiques ou surmontables (c.-à-d., surcharge indépendante de l'atteinte et pouvant être surmontés par l'individu). Cette approche visant à considérer des symptômes injustifiables de manière organique comme surmontables a été contestée par les spécialistes (Jeger, 2014), au point qu'en 2015, la Suisse a, via le tribunal fédéral, modifié sa position concernant la

manière d'évaluer les patients présentant des troubles somatoformes douloureux ou d'autres affections psychosomatiques assimilées via l'ATF 9C_492/2014 du 3 juin 2015 (Frei et al., 2016). Il est toutefois important de rappeler que l'authenticité d'un tableau clinique ne doit pas être appréciée uniquement selon la preuve d'une corrélation organique des symptômes, mais aussi dans le contexte d'un examen neuropsychologique et en utilisant des protocoles permettant la validation des symptômes comme les tests de validité, les questionnaires, les critères diagnostiques (Sherman et al., 2020) ou encore les facteurs intégrés ou *embedded factors* (Larrabee, 2008; Lippa, 2017).

Pour répondre à l'ensemble de ces limitations, un groupe d'experts a été mandaté en 2015 par l'Association suisse des neuropsychologues (ASNP) afin d'analyser les critères existants et de proposer un système d'évaluation à la fois spécifique à la neuropsychologie et indépendant du contexte asséculo-logique, offrant ainsi un consensus pour tous les neuropsychologues amenés à évaluer le degré de gravité et la capacité de travail, quel que soit le contexte. Les problématiques qui ont été détaillées dans les paragraphes précédents sont à la base des objectifs de cet article et du nouveau système d'évaluation proposé (c.-à-d., la table de critères de l'ASNP) qui sont présentés dans la section suivante.

Objectifs

L'élaboration de la table de critères ASNP poursuit plusieurs objectifs :

- Aider à l'évaluation de l'incapacité de travail résultant d'un trouble neuropsychologique par le biais de valeurs indicatives sur le degré d'inaptitude au travail en adéquation avec la gravité du trouble neuropsychologique;

- Proposer un système d'évaluation indépendant du contexte de l'assurance, la table 8 de la Suva étant spécifique aux atteintes cérébrales organiques et dans le cadre de l'assurance-accident;

- Proposer des critères (*a* et *b*) qui restent compatibles avec la table 8 de la Suva en suggérant aussi un système d'évaluation conjugué aux explications relatives à son interprétation et à son utilisation;

- Améliorer la fiabilité interévaluateurs grâce à un degré plus détaillé, avec sept niveaux différents et deux critères par niveau en termes de gravité du trouble neuropsychologique, et à l'inclusion des résultats aux tests neuropsychologiques avec des valeurs standards comme critère d'appréciation;

- Répondre aux recommandations formulées dans le DSM-5 en termes d'inclusion des résultats aux tests

neuropsychologiques dans l'appréciation du degré de gravité;

- Proposer des critères d'évaluation indépendants de l'étiologie des tableaux cliniques et de la dichotomie artificielle entre troubles psychiques organiques et non organiques.

Concernant les deux derniers objectifs et la compatibilité avec les classifications internationales (c.-à-d., CIM-10 et DSM-5), la table 8 de la Suva s'avère trop spécifique (cf. lésion cérébrale organique et contexte de l'assurance-accident) et ne répond pas aux recommandations du DSM-5 vis-à-vis l'inclusion des résultats aux tests neuropsychologiques dans l'appréciation du degré de gravité. Le nouveau système d'évaluation qui est proposé poursuit ainsi l'objectif d'une compatibilité avec le DSM-5 et la CIM-10, d'une part en répondant aux recommandations concernant l'inclusion des résultats aux tests (DSM-5), mais aussi en ciblant l'évaluation du degré d'atteinte indépendamment de l'étiologie (c.-à-d., qu'une lésion structurale visible n'est pas indispensable) et du contexte de l'assurance, comme dans la CIM-10 notamment pour le chapitre V « Troubles mentaux et du comportement ». Contrairement à la table 8 de la Suva, la table de critères ASNP proposée peut ainsi également s'appliquer pour des déficits ne relevant pas d'une lésion structurale, et dans des situations liées à un autre contexte asséculo-logique que celui de l'assurance-accident.

Système d'évaluation de l'incapacité de travail résultant d'un trouble neuropsychologique

Afin de répondre aux écueils précédemment soulevés et permettre une harmonisation des pratiques helvétiques, une nouvelle nomenclature d'évaluation du degré de gravité du trouble neuropsychologique a été élaborée. Le Tableau 1 détaille la table de critères de l'ASNP et il résume le nouveau système d'évaluation proposé. Pour une compréhension plus aisée et en utilisant l'image du modèle de Classification internationale du fonctionnement du handicap et de la santé (CIF; Organisation mondiale de la santé, 2001), la première colonne de la table de critères de l'ASNP est plus particulièrement liée aux fonctions du modèle CIF, alors que la deuxième colonne est plus en lien avec les activités en termes de fonctionnement en vie quotidienne, sociale et professionnelle.

La première colonne de la table de critères ASNP précise deux critères diagnostiques (*a* et *b*) permettant de définir le degré de gravité du trouble neuropsychologique. Ces critères, compatibles avec les recommandations du DSM-5, distinguent d'une part des aspects psychométriques (critère *a*) et, d'autre part, des aspects relevant de l'affectivité, du comportement et de la personnalité (critère *b*). Si ces deux critères se

situent souvent au même niveau d'atteinte, il peut parfois y avoir une différence notable entre l'appréciation du critère *a* et l'appréciation du critère *b*. En effet, un patient présentant des troubles du comportement et de l'humeur au premier plan avec un fonctionnement cognitif encore relativement épargné (p. ex., dans la phase débutante d'une démence fronto-temporale) verra son degré de gravité plus en lien avec le critère *b*. De la même manière, un patient victime d'un accident vasculaire cérébral droit avec d'importants troubles attentionnels, mais sans trouble de l'humeur ou du comportement, verra son degré de gravité plus en lien avec le critère *a*. Ainsi, cette première colonne permet de mieux distinguer, mais aussi de bien prendre en compte, les aspects psychométriques d'une part (critère *a*) et les aspects psychiques d'autre part (critère *b*).

La deuxième colonne de la table de critères ASNP cible plus spécifiquement le fonctionnement dans les activités quotidiennes et professionnelles ainsi que dans l'environnement social. Elle représente une étape cruciale pour l'appréciation globale, mais aussi une continuité et une cohérence entre le degré de gravité estimé (c.-à-d., critères *a* et *b* en première colonne) et l'appréciation de l'incapacité de travail en pourcentages dans la troisième colonne. Dans cette deuxième colonne, le terme de capacité fonctionnelle est central et il peut se comprendre comme l'autonomie du patient dans sa capacité à réaliser des tâches quotidiennes et/ou professionnelles sur la base d'habiletés cognitives et socioaffectives. Cette colonne fournit également des indications sur la manière dont la personne est perçue par son environnement social entre la sphère privée (c.-à-d., la

capacité fonctionnelle au quotidien) et la sphère professionnelle (c.-à-d., la capacité fonctionnelle dans le travail ou dans les tâches et activités requérant un niveau d'exigence élevé).

La troisième colonne de la table de critères ASNP fournit des valeurs indicatives en termes d'incapacité de travail en fonction du degré de gravité estimé et de la capacité fonctionnelle attendue. L'aspect *indicatif* est très important, car l'incapacité de travail est susceptible de s'écarter de ces valeurs en fonction des spécificités de la profession exercée. En effet, un trouble minime portant sur des séquelles d'aphasie chez un animateur mènera probablement à une incapacité de travail importante et bien au-dessus des valeurs indicatives (c.-à-d., de 0 à 10 %). De même, un trouble minime portant sur des séquelles de négligence spatiale unilatérale chez un chauffeur professionnel risque d'engendrer une incapacité de travail beaucoup plus importante que les valeurs indicatives proposées. L'expérience des auteurs et de leurs collègues neuropsychologues utilisant régulièrement cette table de critères ASNP depuis maintenant plus de cinq ans montre toutefois que dans la majeure partie des situations cliniques et professionnelles, l'incapacité de travail estimée sur la base des critères de gravité se situe dans les valeurs indicatives proposées en troisième colonne. À titre illustratif et sur la base de données personnelles et non publiées des auteurs, sur 40 expertises réalisées entre 2017 et 2020, la capacité de travail estimée dans l'activité habituelle se situait dans la plage de valeurs indicatives (c.-à-d., troisième colonne de la table de critères ASNP) dans plus d'un tiers des cas (c.-à-d., 25 sur 40, soit 69,4 %).

Tableau 1

Critères d'évaluation du degré de gravité d'un trouble neuropsychologique et de son impact sur la capacité fonctionnelle et la capacité de travail

Degré de gravité du trouble et critères de diagnostic (<i>a</i> et <i>b</i>)	Capacité fonctionnelle en situation de vie quotidienne et dans le travail	Valeurs indicatives sur l'incapacité de travail ¹
<p>Trouble neuropsychologique minime</p> <p><i>a</i>) légère diminution des capacités sous l'influence d'un stress important ou décelable grâce à des tests neuropsychologiques d'une sous-fonction cognitive ou d'un nombre limité d'entre elles (1 à 2 <i>É.-T.</i> en dessous de la valeur moyenne) et/ou...</p> <p><i>b</i>) aucune particularité tangible ou signe uniquement présent sous l'influence d'un stress important dans les domaines de l'affectivité, du</p>	<p>La personne peut se sentir perturbée de manière subjective. Sa capacité fonctionnelle n'est toutefois pas limitée dans sa vie privée au quotidien. Ses capacités professionnelles sont quasiment inchangées. La personne ne se fait pas remarquer dans son environnement social. La capacité fonctionnelle peut toutefois être légèrement limitée lors des tâches et activités requérant un niveau d'exigences très élevé.</p>	<p>Degré d'incapacité de travail de 0 à 10 %</p>
<p>Trouble neuropsychologique léger</p> <p><i>a</i>) légère diminution des capacités de plusieurs sous-fonctions cognitives (1 à 2 <i>É.-T.</i> en dessous de la valeur moyenne) et/ou...</p> <p><i>b</i>) légers signes dans les domaines de l'affectivité, du comportement ou de la personnalité</p>	<p>La capacité fonctionnelle n'est pas limitée au quotidien ni dans la plupart des sollicitations professionnelles. La personne se fait à peine remarquer dans son environnement social. La capacité fonctionnelle est toutefois limitée lors des tâches et activités requérant un niveau d'exigences élevé.</p>	<p>Degré d'incapacité de travail de 10 à 30 %</p>

Trouble neuropsychologique léger à moyen
 a) une ou au plus deux sous-fonctions cognitives sont nettement réduites (plus de 2 *É.-T.* en-dessous de la valeur moyenne) et les autres légèrement diminuées (1 à 2 *É.-T.* en-dessous de la valeur moyenne), et/ou...
 b) signes légers à moyens dans les domaines de l'affectivité, du comportement ou de la personnalité

La capacité fonctionnelle est légèrement limitée au quotidien et dans la plupart des sollicitations professionnelles. La personne se fait légèrement remarquer dans son environnement social. La capacité fonctionnelle est toutefois moyennement limitée dans le travail ou lors des tâches requérant un niveau d'exigences élevé.

Degré d'incapacité de travail de 30 à 50 %

Trouble neuropsychologique moyen
 a) au moins deux sous-fonctions cognitives sont nettement réduites (plus de 2 *É.-T.* en dessous de la valeur moyenne) et les autres au moins légèrement diminuées (1 à 2 *É.-T.* en dessous de la valeur moyenne), et/ou...
 b) signes intermédiaires dans les domaines de l'affectivité, du comportement ou de la personnalité

La capacité fonctionnelle est significativement limitée au quotidien et pour la plupart des sollicitations professionnelles. Seuls les travaux encore simples peuvent être réalisés. La personne se fait également nettement remarquer dans son environnement social. La capacité fonctionnelle est même fortement limitée dans le travail ou lors des tâches requérant un niveau d'exigences élevé.

Degré d'incapacité de travail de 50 à 70 %

Trouble neuropsychologique moyen à grave
 a) la majorité des sous-fonctions cognitives est nettement diminuée (plus de 2 *É.-T.* en dessous de la valeur moyenne), et/ou...
 b) signes moyens à graves dans les domaines de l'affectivité, du comportement ou de la personnalité

La capacité fonctionnelle est significativement limitée au quotidien et pour diverses sollicitations professionnelles. Seuls les travaux encore simples peuvent être réalisés avec une étroite supervision. La personne se fait également nettement remarquer dans son environnement social. Les activités simples sont possibles, dans certaines circonstances, en atelier protégé ou dans un environnement comparable.

Degré d'incapacité de travail de 70 à 90 %

Trouble neuropsychologique grave
 a) quasiment l'ensemble des fonctions cognitives est réduit de manière significative (plus de 2 *É.-T.* en dessous de la valeur moyenne) et ne peut absolument plus être appréhendé par des tests neuropsychologiques, et/ou...
 b) signes graves dans les domaines de l'affectivité, du comportement ou de la personnalité

La capacité fonctionnelle est fortement limitée au quotidien et pour diverses sollicitations professionnelles. En outre, la personne se fait fortement remarquer dans son environnement social. La plupart des personnes concernées sont totalement inaptes au travail. Dans certaines circonstances, une activité dans un atelier protégé est encore possible.

Degré d'incapacité de travail de 100 %

Trouble neuropsychologique le plus grave
 Le patient réagit à peine ou souvent de manière inadaptée aux stimuli de l'environnement. Les fonctions cognitives et les autres domaines psychiques sont fortement perturbés. Les capacités cognitives ne peuvent plus être appréhendées par des tests neuropsychologiques.

La capacité fonctionnelle est fortement limitée au quotidien. La personne concernée est en permanence tributaire de l'aide de tiers. Une activité dans un atelier protégé n'est pas possible.

Degré d'incapacité de travail de 100 %

Note. Ces valeurs indicatives ne fournissent que des pistes d'orientation. Le degré d'inaptitude au travail peut cependant s'écarter considérablement de ces valeurs indicatives en fonction des caractéristiques d'un trouble ainsi que de chaque profil d'exigences professionnelles.

Précisions sur le premier critère (critère a)

Ce critère se rapporte aux fonctions et sous-fonctions cognitives qui doivent être évaluées dans le cadre de la partie psychométrique de l'examen neuropsychologique. La distinction entre fonctions (p. ex., mémoire antérograde, mémoire de travail) et sous-fonctions (p. ex., stockage vs récupération, charge

mentale vs mise à jour) est importante pour éviter de surévaluer ou sous-évaluer le degré d'atteinte. En effet, une appréciation basée uniquement sur les fonctions, contrairement à ce que propose la table de critères ASNP, n'est pas suffisamment détaillée et risque de biaiser l'estimation (p. ex., en considérant que toute la mémoire est perturbée sans distinguer de quel processus mnésique il s'agit). La plupart des tests

neuropsychologiques standardisés permettent d'évaluer une fonction via ses diverses sous-fonctions. Par exemples, une épreuve de rappel libre/indiqué évalue la mémoire antérograde en distinguant les sous-fonctions de stockage (c.-à-d., rappel libre) et de récupération (c.-à-d., rappel indicé).

Cette manière d'intégrer les résultats aux tests neuropsychologiques correspond à la procédure proposée dans le DSM-5 avec un trouble généralement caractérisé de léger pour des résultats aux tests inférieurs de un à deux écarts-types de la valeur moyenne et un trouble de gravité plus élevée lorsque les résultats aux tests sont inférieurs à la valeur moyenne de plus de deux écarts-types (American Psychological Association, 2015, page 811). Parallèlement à la procédure proposée dans le DSM-5, il est également possible d'utiliser les lignes directrices de l'ASNP proposées pour la classification et l'interprétation des résultats aux tests neuropsychologiques, dont la dernière version révisée en 2018 est également compatible avec le DSM-5. Ces lignes directrices proposent de classer les scores aux tests neuropsychologiques dans des catégories dont certaines bornes sont définies par un écart à la moyenne de l'écart-type (c.-à-d., centile 16 et centile 84) ou de deux écarts-types (c.-à-d., centile 2 et centile 98), ce qui correspond aux écarts à la moyenne du DSM-5 pour distinguer un trouble léger d'un trouble de gravité plus élevée.

Précisions sur le second critère (critère *b*)

Le critère *b*, quant à lui, se rapporte aux autres domaines psychiques (p. ex., affectivité, comportement social, esprit critique ou personnalité). L'appréciation des domaines psychiques complémentaires peut se faire dans le cadre d'une évaluation clinique par le biais de questionnaires d'auto-évaluation ainsi qu'au moyen de tests psychométriques standardisés. Depuis quelques années, des troubles du comportement social ou de la cognition sociale peuvent être appréciés grâce à des tests relativement bien normés comme le *Faces Test* (Baron-Cohen et al., 1997), le *Faux-pas-Test* (Stone et al., 1998) ou le *Reading Mind in the Eyes Test* (Bölte, 2005). Dans certains contextes, notamment en expertise ou pour des aspects spécifiques d'affectivité et de personnalité en présence d'un trouble psychiatrique majeur au premier plan, un avis psychiatrique spécialisé peut s'avérer nécessaire. Complémentaire au critère *a*, l'évaluation du critère *b* n'en est pas moins essentielle, puisque certaines modifications non cognitives constituent parfois le signe précurseur ou persistant d'une atteinte cérébrale. Par exemple, l'évaluation de la fatigue dans la sclérose en plaques ou l'appréhension des modifications cognitivo-comportementales dans le cas d'un traumatisme craniocérébral sont essentielles pour

évaluer le réel impact fonctionnel du trouble neuropsychologique.

Ainsi considérés conjointement, les critères *a* et *b* permettent d'aboutir à une estimation de la gravité du trouble neuropsychologique. Néanmoins, l'application formelle de ces critères diagnostiques n'est pas toujours aisée et elle peut parfois soulever de nombreuses interrogations. Les sections suivantes ont pour but de préciser certaines questions liées notamment à la sélection des tests et les modalités d'évaluation, à l'importance de la validation des symptômes, à l'évaluation de la capacité de travail, à la collaboration interdisciplinaire ainsi qu'à la question de la divergence parfois rencontrée entre la gravité des déficits cognitifs et la sévérité des symptômes dans les autres domaines psychiques, aspect qui peut parfois être difficile dans l'évaluation globale de la gravité d'un trouble.

Évaluation des fonctions cognitives

Bien que la sélection des tests neuropsychologiques soit guidée par les hypothèses du clinicien (c.-à-d., lien entre les troubles éventuellement constatés et une affection déterminée), l'examen devrait toutefois systématiquement couvrir l'ensemble des principaux domaines cognitifs. On entend par domaine une fonction cognitive donnée qui est elle-même constituée de plusieurs sous-fonctions cognitives. Par exemple, le domaine de la mémoire se divise en différentes sous-fonctions comme l'apprentissage, le stockage et la récupération. Ainsi, même si l'examen cible en premier lieu les hypothèses du clinicien en lien avec l'affection suspectée, l'omission de certaines fonctions cognitives ne permet dès lors pas d'objectiver d'éventuels troubles associés à un syndrome neuropsychologique au premier plan ou de mettre en évidence les capacités préservées dont la prise en compte est importante pour le tableau global ainsi que pour envisager une prise en charge dans un second temps. Dans un examen neuropsychologique, une sous-fonction cognitive peut être décrite à l'aide de plusieurs résultats de tests. C'est bien de l'ensemble de ces fonctions et sous-fonctions cognitives dont il est question dans la première partie de la table de critères ASNP, présentée dans la section précédente. Évaluer le nombre de (sous)fonctions perturbées et la sévérité de leur dysfonctionnement permet ainsi de statuer sur le critère *a* et, tout en pondérant avec le critère *b*, d'aider à conclure quant au degré de gravité du trouble neuropsychologique. Il convient cependant de garder à l'esprit qu'en cas de valeurs inférieures à la norme aux tests de manière isolée, il n'est pas forcément possible de conclure à la présence d'un trouble neuropsychologique compte tenu de la possibilité d'éventuelles valeurs aberrantes. En outre, chaque zone fonctionnelle doit être appréhendée si possible au

moyen de plusieurs épreuves. Afin de réduire le risque de faux positifs, il convient aussi d'utiliser des données normatives disponibles afin de savoir combien de résultats inférieurs à la moyenne sont également observés chez des personnes saines de l'échantillon normatif (cf. ASNP, 2018; Colombo et al., 2016). Par exemple, l'utilisation d'une analyse de profil apporte une aide précieuse pour éviter les faux négatifs en mettant en évidence les déficits, et ce, malgré un profil en apparence normale (Crawford et al., 1998). Par ailleurs, il est aussi important que les neuropsychologues soient conscients que la probabilité d'obtenir des résultats inférieurs à la norme s'accroît au fur et à mesure que le nombre de tests réalisés augmente, et qu'en conséquence, à partir d'un certain nombre de tests effectués, des valeurs inférieures à la norme risquent d'être détectées même chez des sujets sains (Brooks et al., 2011). Enfin, lors de l'évaluation globale, il convient d'examiner la cohérence intrinsèque des résultats ainsi que leur congruence pour en faire une évaluation et une interprétation correctes.

En outre, il s'agit de garder à l'esprit qu'en fonction des exigences professionnelles, les divers domaines cognitifs revêtent des significations différentes en termes d'appréciation de la capacité fonctionnelle et de travail. Par conséquent, le choix du protocole de tests doit aussi s'orienter vers l'analyse des exigences professionnelles (Dohrenbusch et al., 2012). En principe, l'examen diagnostique approfondi des fonctions attentionnelles est d'une grande importance, celles-ci reflétant les prérequis et les bases pour d'autres fonctions cognitives (Jeger, 2011). Les fonctions exécutives et les processus de régulation émotionnelle et sociale sont également d'une importance décisive pour la réussite en matière de réinsertion professionnelle, puisqu'elles permettent l'adaptation à des situations nouvelles et l'ajustement lors des interactions sociales. Une séquence de tests plus longue peut aussi servir à éprouver l'endurance, par exemple pour évaluer l'ampleur de la fatigue (Dohrenbusch, 2007; Lukoschek et al., 2015).

Les résultats obtenus devant être vérifiables, les instruments psychodiagnostiques utilisés doivent être documentés précisément en indiquant la description du test, la version utilisée (p. ex., en cas de formes parallèles) et les modalités d'évaluation (c.-à-d., la correction par âge, sexe et formation). Les résultats aux tests doivent aussi être présentés sous forme de valeurs d'échelles généralement connues (p. ex., valeurs *T*, valeurs *Z*, score *QI*) avant d'évaluer sur cette base le degré de gravité d'un trouble, conformément à la définition de la table de critères ASNP. Une représentation des résultats sous forme d'un profil est utile, car elle permet un aperçu global. L'indication des valeurs brutes est parfois contributive,

notamment pour les tests sans normes reliées à la formation, à l'âge ou au sexe (p. ex., lors d'un examen des praxies ou si les valeurs divergent de telle ampleur par rapport à la norme qu'il devient impossible de les représenter à l'aide des valeurs de l'échelle). Dans le cadre de la présentation et de la description des résultats, il convient ensuite d'indiquer clairement si seules certaines sous-fonctions cognitives isolées ou la totalité d'un domaine fonctionnel présentent un déficit (p. ex., déficits en alerte tonique vs déficits des fonctions attentionnelles, comme un domaine fonctionnel cognitif global).

Validité des symptômes

Une condition préalable à l'appréciation du degré de gravité tel que proposée dans la table de critères ASNP, en particulier pour le critère *a*, réside dans la certitude que le patient ou l'assuré a réellement collaboré à l'évaluation au maximum de ses capacités et de sa motivation. Autrement dit, il s'agit de s'assurer de la validité des symptômes présentés par l'individu dans le contexte d'une pathologie déterminée. Au cours des dernières décennies, aucune autre discipline en neurosciences ne s'est enrichie d'un si grand nombre d'instruments et de protocoles de vérification de la validité avec un tel degré de pertinence (p. ex., Merten & Dettenborn, 2009). Il existe désormais de nombreux protocoles de tests cognitifs, avec ou sans choix forcé, ainsi que des questionnaires bien normalisés pour la validation des symptômes psychiques. En outre, par l'analyse des facteurs intégrés, il devient possible d'interpréter les résultats des tests neuropsychologiques comme des paramètres de validation des troubles cognitifs (Larrabee, 2008; Lippa, 2017). Enfin, grâce aux critères de Sherman et al. (2020) pour identifier une simulation/majoration consciente (c.-à-d., *malingering* selon la terminologie des auteurs), ou au catalogue de critères proposés par Bianchini et ses collaborateurs (Bianchini et al., 2005; Young, 2014) pour les déficits fonctionnels simulés liés à la douleur, on dispose de systèmes d'évaluation de validation de symptômes complets qui prennent en compte non seulement les résultats aux tests, mais aussi un examen de la cohérence entre les symptômes dont se plaint le patient et sa fonctionnalité au quotidien. Dans ce cadre, il est important de garder à l'esprit que, contrairement au postulat avancé dans certains milieux psychiatriques spécialisés, l'utilisation de tests de validation des symptômes ne se réduit pas exclusivement aux troubles psychiques de nature organique (Dressing et al., 2011). En effet, la plupart des protocoles de validation des symptômes et des performances neuropsychologiques existants sont également normalisés au moyen d'échantillons de personnes expertisées présentant des troubles psychiques non organiques. Dans certaines situations

en psychiatrie où des éléments de surcharge (c.-à-d., exagération) ou de simulation (c.-à-d., production volontaire de symptômes) peuvent être symptomatiques d'un trouble plus général et invalidant (p. ex., un trouble de la personnalité antisociale), la validation des symptômes psychiques (p. ex., avec le MMPI-2) joue un rôle central (Rogers, 2008). Il serait en effet peu adéquat de statuer sur le degré de gravité et encore moins sur la capacité de travail en cas de doute concernant la validité des symptômes. Même pour les tableaux de troubles psychiatriques spécifiques (p. ex., syndrome de stress post-traumatique), il existe désormais des instruments de validation de symptômes pour diagnostiquer des pathologies simulées (Young, 2014). Ces protocoles ont également été validés à l'aide d'échantillons d'assurés ayant été examinés dans le cadre d'expertises médicales (Plohmman, 2008). L'un des principaux enjeux lors de la validation des symptômes reste le choix du test approprié et la prise en compte des valeurs limites propres au trouble pour minimiser le risque de faux positifs (p. ex., chez des personnes présentant une limitation avérée des capacités intellectuelles et si aucun échantillon spécifique et qu'aucune valeur limite adaptée à cette population n'ont été utilisés pour comparaison; cf. Hurley & Deal, 2006). En présence d'une exagération inconsciente, d'une exacerbation consciente des troubles (c.-à-d., d'une majoration délibérée des difficultés effectivement rencontrées et/ou de leurs impacts fonctionnels) ou d'une simulation intentionnelle de troubles, il n'est généralement plus possible de détecter le déficit fonctionnel cognitif de manière probante. Ainsi, comme il serait problématique de poser un diagnostic et d'appréhender des déficits dans le domaine psychopathologique en cas de description invalide des symptômes, il est crucial qu'un neuropsychologue qui justifie, suspecte ou détecte des tendances à l'exagération, une majoration ou une simulation en tienne compte lors de l'évaluation du trouble et de son impact (Dohrenbusch, 2007).

Appréciation de la capacité de travail

Lors de l'appréciation de la capacité ou de l'incapacité de travail telle que proposée dans la troisième colonne de la table de critères ASNP, le déficit doit être juridiquement pertinent par rapport à l'activité exercée jusque-là. Le trouble de la santé doit également atteindre une valeur pathologique. En d'autres termes, le trouble doit avoir pour conséquence un traitement ou une inaptitude totale ou partielle au travail (Swiss Insurance Medicine, 2013). Lors de l'évaluation, on considère en général deux aspects : la composante de performance (c.-à-d., sollicitation ou rendement) et la composante horaire (c.-à-d., temps de présence au poste de travail). Par exemple, une personne peut être sollicitée durant 50 % du temps de travail avec une baisse de rendement de 50 %, et il en

résulte alors une capacité de travail de 25 % (c.-à-d., 50 % de 50 %) ou une incapacité de 75 % (c.-à-d., 100 % - 25 %; cf. Swiss Insurance Medicine, 2013). Traditionnellement, l'appréciation de l'aptitude au travail était considérée en Suisse comme une mission principalement médicale, ce qui pouvait se justifier dans le domaine de la médecine somatique, mais plus difficilement lors de l'évaluation de la capacité de travail en présence de déficits cognitifs ou psychiques. L'évolution des pratiques et le travail fourni ces dernières années par des experts neuropsychologues compétents en contexte pluridisciplinaire ont néanmoins modifié cette tradition. Grâce au développement de protocoles de tests spécifiques dont les critères de qualité ont été contrôlés (p. ex., fiabilité, validité, objectivité), la neuropsychologie dispose d'outils à la fois pertinents, spécifiques et professionnels. Bien que la validité prédictive des protocoles de tests concernant la réussite ou la réinsertion professionnelle reste sujette à débat, on peut présumer que l'évaluation des aptitudes cognitives nécessaires pour une activité déterminée, l'utilisation d'un test d'aptitude propre à la profession, l'observation du comportement dans des conditions reproduisant celles du travail ainsi que l'intégration des résultats d'une mise en situation éventuelle renforcent significativement la validité écologique (Guilmette & Pinchot Kastner, 1996).

Si une incapacité de travail est fondée exclusivement ou partiellement au plan neuropsychologique, il est nécessaire de définir le degré de gravité du trouble en question et d'indiquer de quelle manière il influe sur les capacités fonctionnelles et les performances. Lors d'une expertise neuropsychologique, ainsi que parfois dans le quotidien clinique, il est également souvent nécessaire de se prononcer sur la capacité de travail. Les expertises neuropsychologiques peuvent en effet livrer des témoignages précieux et spécifiques sur le profil d'endurance et de performance actuel d'un assuré. Elles peuvent proposer des pistes thérapeutiques nécessaires à un domaine spécialisé, ainsi que des mesures permettant d'améliorer la capacité de travail et de favoriser la réinsertion. Par ailleurs, les neuropsychologues peuvent également donner des indications utiles et formuler des recommandations à l'attention des médecins responsables concernant les certificats médicaux émis. Enfin, les neuropsychologues peuvent être amenés à se prononcer sur un pronostic en termes d'évolution des troubles ou de la capacité de travail (Plohmman, 2008).

Dans ce contexte et afin de guider le clinicien dans son appréciation, les valeurs indicatives relatives à l'incapacité de travail mentionnées dans la troisième colonne de la table de critères ASNP concernent des pourcentages dans le but d'améliorer la fiabilité

interévaluateurs. Le degré d'incapacité de travail peut ainsi considérablement diverger de ces valeurs indicatives en fonction des caractéristiques d'un trouble, du profil individuel d'exigences professionnelles ou des conditions-cadres concrètes au niveau d'un poste de travail déterminé (cf. les exemples de l'animateur et du chauffeur professionnel précédemment évoqués). Même si l'évaluation de la capacité de travail peut parfois s'écarter des valeurs indicatives données dans la table de critères ASNP, ces dernières constituent toutefois un cadre de référence important et susceptible de contribuer à améliorer la fiabilité interévaluateurs. Enfin, lors de l'appréciation de la capacité de travail, en particulier dans une activité dite adaptée, il est important de ne pas seulement prendre en compte les critères *a* et *b* (c.-à-d., approche orientée vers la pathogenèse où l'accent est mis sur l'origine d'une affection donnée), mais aussi les ressources individuelles de la personne expertisée (c.-à-d., approche de *salutogenèse* orientée vers les facteurs favorisant la santé et le bien-être). Cette distinction rappelle l'importance de couvrir tous les domaines cognitifs lors de l'examen neuropsychologique, afin de mettre en évidence non seulement les fonctions atteintes, mais aussi les fonctions préservées.

Degré de gravité du trouble et critères de diagnostic

Dans certains cas, le degré de sévérité des déficits cognitifs et le degré de gravité des autres symptômes psychiques (c.-à-d., affectivité, comportement social, esprit critique, personnalité) sont susceptibles de diverger considérablement. À titre d'illustration, on sait qu'il n'est pas rare chez des patients présentant un syndrome dit *dysexécutif* ou un trouble organique de la personnalité consécutif à une lésion du cortex préfrontal (cf. Dilling et al., 2014 pour le code CIM-10 : F07.0) de ne déceler au niveau des tests que de légers déficits, alors que ces mêmes personnes peuvent présenter des déficits marqués en termes de régulation de l'affect, de comportement social et d'esprit critique. En se référant à la table de critères ASNP et en ne prenant en compte que le critère des déficits cognitifs (critère *a*), ce type de profil serait probablement classé en tant que trouble neuropsychologique léger, voire minimal. Or, de sévères perturbations du comportement social (critère *b*) peuvent engendrer une atteinte fonctionnelle plus marquée et s'inscrire dans le cadre d'un trouble neuropsychologique moyen, voire moyen à sévère, en fonction de l'impact fonctionnel en vie quotidienne et/ou professionnelle. Comme évoqué plus haut, il est important de rappeler que la prise en compte et l'évaluation des domaines psychiques d'affectivité, de comportement et de personnalité ne concernent pas que le diagnostic des troubles psychiques organiques,

mais également le diagnostic des troubles psychiques non organiques. Par exemple, dans le cas de l'examen d'un trouble du spectre de l'autisme chez un individu bénéficiant d'un bon potentiel intellectuel, et donc, ne présentant pas de perturbation selon le critère *a*, seules la prise en compte et l'évaluation des déficits qualitatifs des interactions sociales et des modes de comportements stéréotypés (c.-à-d., symptômes au premier plan du tableau clinique et reflétant le critère *b*) permet une représentation pertinente des déficits fonctionnels et du degré d'incapacité de travail. Le clinicien se retrouve alors face à une discripance entre la sévérité du trouble telle que définie par le critère *a* (c.-à-d., déficits cognitifs) et celle définie par le critère *b* (c.-à-d., symptômes psychiques). Dans ce type de situation et pour statuer sur le degré de gravité du trouble neuropsychologique, il est préconisé de retenir le critère le plus représentatif de l'incapacité fonctionnelle, en l'occurrence le critère *b* dans l'exemple précédent, et d'estimer le degré de gravité, tout en soulignant le contraste entre la sévérité des troubles cognitifs et celle des perturbations psychiques, et en prenant soin de décrire précisément ces dernières.

Distinction entre fonctions cognitives et autres domaines psychiques

La table de critères ASNP présentée dans cet article se réfère au domaine des fonctions cognitives en intégrant également les autres domaines psychiques comme l'affectivité, le comportement social ou la personnalité, dans le but d'évaluer de la façon la plus pertinente et la plus précise possible le degré de gravité d'un trouble neuropsychologique. Il faut aussi prendre en compte la difficulté à délimiter dans certaines situations les aspects spécifiquement organiques d'un trouble psychique. Parfois, la frontière entre un trouble psychique et une composante organique *per se* est difficile à délimiter. C'est le cas, par exemple, des dépressions survenant après un accident vasculaire cérébral et dont les liens, notamment avec les processus physiologiques inflammatoires, sont de plus en plus documentés (cf. Spalletta et al., 2006; Pascoe et al., 2011). Dans ce contexte où la distinction entre fonctions cognitives et autres domaines psychiques est parfois malaisée, le bilan neuropsychologique pourrait se voir enrichi d'un contexte d'évaluation pluridisciplinaire avec un consensus sur l'estimation de la capacité de travail notamment en situation d'expertise. L'approche qui s'est développée ces dernières années et l'évolution des pratiques favorisent une telle collaboration interdisciplinaire. Grâce à cet échange, les tableaux cliniques psychiatriques et neuropsychologiques sont de plus en plus appréciés et discutés de manière collégiale en particulier entre les psychiatres et les neuropsychologues.

Conclusion

L'objectif de cet article était de présenter une nouvelle taxonomie pour évaluer le degré de gravité d'un trouble neuropsychologique. Rendant compte de perturbations dans les domaines cognitifs (critère *a*) et psychiques (critère *b*), la table de critères ASNP permet d'évaluer la gravité d'un trouble neuropsychologique et d'en estimer l'impact sur la capacité fonctionnelle et la capacité de travail. L'importance de prendre en compte la nature et les conditions de l'activité exercée en lien avec l'estimation du degré de gravité et de la capacité de travail a été détaillée. De telles appréciations ne peuvent toutefois pas faire l'économie de tests et autres outils visant à déterminer la validité des symptômes, condition indispensable d'une estimation fiable d'un trouble neuropsychologique et de ses conséquences. De possibles divergences entre les aspects cognitifs et psychiques ont été discutées, de même que la frontière parfois floue entre déficits cognitifs organiques et non organiques. Ce nouvel outil a pour but d'aider et de guider les cliniciens dans l'appréciation du degré de gravité d'un trouble neuropsychologique, de sorte à renforcer la fiabilité interévaluateurs. Sur le plan clinique, la table de critères ASNP offre ainsi un système de référence et un langage commun à tous les neuropsychologues qui peuvent l'utiliser et s'y référer, quelle que soit la situation clinique rencontrée. Ainsi, bien que les dispositions asséurologiques diffèrent d'un pays à l'autre, la table de critères ASNP se veut utile à l'ensemble des neuropsychologues qui rencontrent ce type de problématique en pratique clinique. En effet, facilement transposable aux autres systèmes de santé, elle pourrait permettre une plus grande harmonisation des pratiques.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en rapport avec cet article.

Remarques

Cet article est basé sur les recommandations d'un groupe de travail au contenu approuvé par les membres de l'assemblée générale de 2015 de l'Association suisse des neuropsychologues (ASNP), et ayant fait l'objet d'une publication en allemand (Frei et al., 2016).

Références

- American Psychiatric Association. (2015). *DSM-5 : Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (traduit par J.-D. Guelfi et M.-A. Crocq; 5^e éd.). Elsevier Masson.
- Association suisse des Neuropsychologues. (2018). Lignes directrices pour la classification et l'interprétation des résultats aux tests neuropsychologiques. Repéré à <https://tinyurl.com/rcewgcg>
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Jolliffe, T. (1997). Is there a "language of the eyes"? Evidence from normal adults and adults with autism or Asperger syndrome. *Visual Cognition*, 4, 311-331.
- Bianchini, K. J., Greve, K., W., & Glynn, G. (2005). On the diagnosis of malingered pain-related disability: Lessons from cognitive malingering research. *The Spine Journal*, 5, 404-417. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2004.11.016>
- Bölte, S. (2005). *Reading the Mind in the Eyes Test für Erwachsene (deutsche Fassung) von S. Baron-Cohen* [Reading the mind in the Eyes test for adults]. J. W. Goethe Universität.
- Brooks, B. L., Sherman, M. S., Iverson L. G., Slick, D. J., & Strauss, E. (2011). Psychometric foundations for the interpretations of neuropsychological test results. In M. R. Schoenberg & J. G. Scott (Dirs.). *The Little Black Book of Neuropsychology. A Syndrome-Based Approach* (pp. 893-922). New York: Springer.
- Colombo, F., Amieva, H., Lecerf, T., & Verdon V. (2016). La norme en neuropsychologie, un concept à facettes multiples. *Revue de Neuropsychologie*, 8, 61-69. <https://doi.org/10.3917/rne.081.0061>
- Crawford, J. R., Howell, D. C., & Garthwaite, P. H. (1998). Payne and Jones revisited: Estimating the abnormality of test score differences using a modified paired samples t-test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20, 898-905. <https://doi.org/10.1076/jcen.20.6.898.1112>
- Dilling, H., Mombour, W., Schmidt, M. H., & Schulte-Markwort, E. (2014). *Internationale Klassifikation psychischer Störungen. Klinisch-diagnostische Leitlinien*. Hogrefe Verlag.
- Dohrenbusch, R. (2007). *Begutachtung somatoformer Störungen und chronifizierter Schmerzen. Konzepte, Methoden, Beispiele*. Verlag W. Kohlhammer.
- Dohrenbusch, R., Schneider, W., & Merten, T. (2012). Zur bedeutung der testpsychologie bei der ICF-orientierten Begutachtung. In Schneider, W., Henningsen, P., Dohrenbusch, R., Freyberger, H. J., Irlé, H., Köllner, V., & Widder, B. (Dirs.). *Begutachtung bei psychischen und psychosomatischen Erkrankungen: autorisierte Leitlinien und Kommentare* (pp. 473-548). Verlag Hans Huber.
- Dressing, H., Foerster, K., Widder, B., Schneider, F., & Falkai, P. (2011). *Zur Anwendung von Beschwerdvalidierungstests in der psychiatrischen Begutachtung*. Stellungnahme der deutschen Gesellschaft für Psychiatrie, Psychotherapie und Nervenheilkunde (DGPPN). <https://doi.org/10.1055/s-0043->

- 119801
- Frei, A., Balzer, C., Gysi, F., Leros, J., Plohmann, A., & Steiger, G. (2016). Kriterien zur bestimmung des schweregrades einer neuropsychologischen störung sowie zuordnungen zur funktions- und arbeitsfähigkeit- Leitlinien. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, *27*, 107-119. <https://doi.org/10.1024/1016-264X/a000177>
- Guilmette, T. J. & Pinchot Kastner, M. (1996). The prediction of vocational functioning from neuropsychological data. In R. J. Sbordone & C. J. Long (Dir.). *Ecological Validity of Neuropsychological Nesting*. St. Lucie Press.
- Hurley, K. E. & Deal, W. P. (2006). Assessment instruments measuring malingering used with individuals who have mental retardation: Potential problems and issues. *Mental Retardation*, *44*, 112-119. [https://doi.org/10.1352/0047-6765\(2006\)44\[112:AIMMUW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1352/0047-6765(2006)44[112:AIMMUW]2.0.CO;2)
- Jeger, J. (2011). Die entwicklung der « Foerster-Kriterien » und ihre übernahme in die bundesgerichtliche Rechtsprechung: Geschichte einer Evidenz. Repéré à <https://tinyurl.com/s3a62b2>
- Jeger, J. (2014). Die persönlichen ressourcen und ihre auswirkungen auf die arbeits- und wiedereingliederungsfähigkeit – eine kritische auseinandersetzung mit der überwindbarkeitspraxis. In G. Riemer-Kafka (Dir.). *Psyche und Sozialversicherung, Luzerner Beiträge zur Rechtswissenschaft*. Schulthess Verlag.
- Larrabee, G. J. (2008). Aggregation across multiple indicators improves the detection of malingering: Relationship to likelihood ratios. *The Clinical Neuropsychologist*, *22*, 666-679. <https://doi.org/10.1080/13854040701494987>
- Lautenbacher, S. & Gauggel, S. (2004). *Neuropsychologie psychischer Störungen*. Springer Verlag.
- Lippa, M. (2017). Performance validity testing in neuropsychology: A clinical guide, critical review, and update on a rapidly evolving literature. *The Clinical Neuropsychologist*, *32*, 391-421. <https://doi.org/10.1080/13854046.2017.1406146>
- Lukoschek, C., Sterr, A., Claros-Salinas, D., Gütler, R., & Dettmers, C. (2015). Fatigue in multiple sclerosis compared to stroke. *Frontiers in Neurology*, *6*, 1-6. <https://doi.org/10.3389/fneur.2015.00116>
- Merten, T. & Dettenborn, H. (Dir.). (2009). *Diagnostik der Beschwerdenuvalidität. Praxis der Rechtspsychologie*. Deutscher Psychologen-Verlag.
- Organisation mondiale de la santé. (2001). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé*. Repéré à <https://tinyurl.com/t7fy47v>
- Pascoe, M. C., Crewther, S. G., Carey, L. M., & Crewther, D. P. (2011). Inflammation and depression: Why poststroke depression may be the norm and not the exception. *International Journal of Stroke*, *6*, 128-135.
- Plohmann, A. M. (2008). Relevanz neuropsychologischer gutachten zur beurteilung der arbeitsfähigkeit und integrität. *Epileptologie*, *25*, 182-190.
- Rogers, R. (2008). *Clinical Assessment of Malingering and Deception*. Guilford Press.
- Suva. (2002). Integritätsentschädigung gemäss UVG, Tabelle 8. Repéré à <https://tinyurl.com/yx7cdb99>
- Sherman, E. M. S., Slick, D. J., & Iverson, G. L. (2020). Multidimensional malingering criteria for neuropsychological assessment: A 20-year update of the malingered neuropsychological dysfunction criteria. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *00*, 1-30.
- Spalletta, G., Bossu, P., Ciaramella, A., Bria, P., Caltagirone, C., & Robinson, R. G. (2006). The etiology of poststroke depression: A review of the literature and a new hypothesis involving inflammatory cytokines. *Molecular psychiatry*, *11*, 984-991.
- Stöckli, H. R. (2007). Besonderheiten der begutachtung in der Schweiz. In B. Widder & P.W. Gaidzik (Dir.), *Begutachtung in der Neurologie* (p. 465-476). Georg Thieme Verlag.
- Stone, V. E., Baron-Cohen, S., & Knight, R. T. (1998). Frontal lobe contributions to theory of mind. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*, 640-56.
- Swiss Insurance Medicine. (2013). Incapacité de travail. Lignes directrices pour l'évaluation de l'incapacité de travail par suite d'accident ou de maladie. Repéré à <https://tinyurl.com/ttu7els>
- Young, G. (2014). Malingering, feigning, and response bias in psychiatric/ psychological injury. *Implications for Practice and Court*. Springer.

Reçu le 20 janvier 2020

Révisé le 12 mars 2020

Accepté le 28 août 2020 ■

Suivez mon regard : vers une utilisation de l'oculométrie en pratique clinique courante dans l'évaluation de la négligence spatiale unilatérale

Grégoire Wauquiez¹, M. Sc., Florine Billebeau¹, M. Sc., Jean-Marie Casillas^{1,2,3}, Ph. D., Davy Laroche^{2,3}, Ph. D. et Mathieu Gueugnon², Ph. D.

¹Pôle de Rééducation et de Réadaptation, CHU Dijon Bourgogne, France

²Centre d'investigation clinique, module plurithématique, plateforme d'investigation technologique, CHU Dijon-Bourgogne, France

³Unité mixte de recherche, Laboratoire Cognition, Action et Plasticité sensorimotrice (CAPS), Université Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

La négligence spatiale unilatérale (NSU) est un trouble de la cognition spatiale fréquent et invalidant à la suite d'une lésion cérébrale. Les épreuves papier-crayon classiquement utilisées pour l'évaluer sont néanmoins critiquées pour leur manque de sensibilité. De récents travaux suggèrent que l'oculométrie pourrait pallier ces limites. Toutefois, sa complexité et son coût en restreignent l'utilisation en pratique clinique. Un protocole simplifié basé sur un matériel d'oculométrie destiné à l'usage individuel avec exploration visuelle libre d'une image a été proposé à dix patients cérébrolésés droits. Un index spatial illustrant un biais attentionnel a été calculé selon la répartition des points de fixation. Les résultats ont montré une bonne faisabilité auprès de patients hétérogènes et une forte concordance entre cette procédure et les épreuves classiques de détection de la NSU. Ces données renforcent l'intérêt de l'utilisation d'un protocole d'oculométrie simplifié basé sur un matériel abordable dans l'évaluation de la NSU en pratique courante.

Mots-clés : négligence spatiale unilatérale, oculométrie, évaluation, faisabilité, pratique clinique

Spatial neglect is a common and disabling spatial cognition disorder after brain lesion. However, paper-and-pencil tasks conventionally used to evaluate those impairments are criticized because of their lack of sensitivity. Recent publications suggest that eye-tracking may overcome part of their limitations. Nevertheless, the complexity of eye-tracking and its cost make it difficult to use in routine clinical practice. Thus, a simplified protocol based on an individual eye tracking device with free visual exploration of an image was proposed to ten right brain-injured patients. A spatial index was computed to assess their attentional bias according to the fixation distributions. Results show a good feasibility on heterogeneous patient and a strong agreement between standard tests and this procedure to detect spatial neglect. This result strengthens the interest of a simplified and affordable eye-tracking protocol based on individual device to evaluate spatial neglect in routine clinical practice.

Introduction

Le syndrome de négligence spatiale unilatérale (NSU) est défini comme une incapacité à détecter des stimuli porteurs de signification, à s'orienter vers eux et à leur répondre lorsqu'ils sont présentés dans l'hémiespace contralésionnel (Heilman et al., 2000). Classiquement, les patients qui en sont atteints présentent une déviation du regard du côté ipsilésionnel, ils « regardent leur lésion » (Berger et al., 2006). Ce syndrome s'exprime toutefois sous des formes très hétérogènes, pouvant se manifester dans différentes modalités (c.-à-d., sensorielle, motrice ou

représentationnelle), au sein de différents espaces (c.-à-d., personnel, péripersonnel ou extrapersonnel) et selon différents référentiels (c.-à-d., ego- ou allocentré) (cf. Azouvi, 2014; Verdon et al., 2010). Très fréquente en cas d'atteinte cérébrale hémisphérique droite (Buxbaum et al., 2004), la NSU représente l'un des principaux facteurs susceptibles de générer des répercussions sur l'autonomie dans un grand nombre d'activités de la vie quotidienne telles que la lecture, l'écriture, l'habillage, les soins corporels, la prise des repas ou encore les déplacements (Nijboer et al., 2013). Ces troubles se manifestent de manière prépondérante dans les activités nécessitant les fonctions visuo-attentionnelles, particulièrement impliquées dans les interactions environnementales. La prise en charge de la NSU est ainsi un enjeu capital qui nécessite en premier lieu des outils d'évaluation fiables et accessibles.

La correspondance concernant cet article doit être adressée à /
Correspondence concerning this article should be addressed to:

Grégoire Wauquiez, pôle Rééducation-Réadaptation, CHU Dijon Bourgogne, France.

Courriel/e-mail: gregoire.wauquiez@chu-dijon.fr

Actuellement, les praticiens utilisent majoritairement des épreuves papier-crayon telles que la bissection de lignes, la copie de figures, le test de lecture ou la recherche de cibles pour évaluer la NSU (cf. Vuilleumier & Saj, 2013). Dans ces épreuves, le sujet porte volontairement son attention sur des aspects spécifiques en fonction d'une consigne. Elles reposent ainsi particulièrement sur la mise en jeu de la composante endogène de l'attention, composante relativement préservée chez les patients présentant une NSU. A contrario, la composante exogène de l'attention (c.-à-d., l'orientation attentionnelle automatique vers un stimulus du champ perceptif), fortement impliquée dans la réalisation des activités de la vie quotidienne, est plus sévèrement atteinte dans la NSU (Bartolomeo & Chokron, 2002). Elle serait mal évaluée par les épreuves classiques, alors qu'elle représenterait l'indicateur le plus sensible de la NSU et de ses répercussions fonctionnelles (Azouvi et al., 2002), limitant de fait leur validité écologique (Azouvi, 2017; Bonato, 2012).

L'oculométrie est une méthode d'enregistrement des mouvements oculaires qui mesure, entre autres, l'amplitude et l'orientation de ces mouvements ainsi que la localisation et la durée des points de fixation sur un support visuel; cela permet notamment d'évaluer la qualité de l'exploration visuo-attentionnelle spontanée (Hoffman & Subramaniam, 1995). La pertinence de cette technique dans l'étude de la NSU a été soulignée par de nombreux travaux (Kortman & Nicholls, 2016; Müri et al., 2009; Pflugshaupt et al., 2004; Sprenger et al., 2002). En effet, l'attention visuelle et l'activité oculomotrice sont largement interdépendantes (Privitera & Stark, 2000; Ouerhani et al., 2004). L'oculométrie apparaît donc particulièrement prometteuse en tant que mesure de l'orientation visuo-attentionnelle exogène/automatique. Toutefois, ces dispositifs sont encore peu utilisés en dehors des laboratoires de recherche, probablement en raison de leur utilisation et interprétation complexes qui sont associées à un coût de fonctionnement important.

Récemment, Delazer, Sojer, Ellmerer, Boehme et Benke (2018) ont proposé un protocole d'évaluation de la NSU par oculométrie applicable en routine clinique. Vingt-deux patients post-AVC droit et 28 sujets sains appariés selon l'âge et le sexe se sont vus proposer une tâche d'exploration visuelle libre regroupant 10 photographies présentées sur un écran d'ordinateur pendant 10 secondes chacune, avec enregistrement de l'activité oculomotrice. L'asymétrie attentionnelle a été mesurée à l'aide d'un index spatial correspondant au ratio entre le nombre de points de fixations effectués dans une région droite versus gauche de l'image, rapporté au nombre total de fixations réalisées durant l'épreuve. Cet index compris entre -1 (c.-à-d., exploration uniquement de la partie

gauche de l'image) et +1 (c.-à-d., exploration uniquement de la partie droite de l'image) permet de quantifier simplement et précisément le biais attentionnel et son intensité en le représentant sous une forme facilement interprétable à l'aide d'une mesure continue. Les performances à la tâche d'oculométrie ont été comparées à des épreuves utilisées dans le dépistage de la NSU (c.-à-d., tâches de recherche de cibles, copie de dessins, bissection de lignes et lecture de chiffres). L'index spatial a présenté une forte sensibilité et spécificité pour discriminer les volontaires sains de ceux présentant une NSU (Delazer et al. 2018). Néanmoins, la procédure proposée, notamment l'outil de mesure, ne semble pas adaptée à une utilisation en pratique courante au regard du coût d'achat et de la complexité d'utilisation en routine clinique.

L'objectif de cette étude est de proposer une épreuve d'oculométrie simplifiée, inspirée par Delazer et al. (2018), sur un matériel abordable destiné à l'usage individuel en pratique courante. Ce projet vise donc à montrer la bonne faisabilité (c.-à-d., réalisation complète de la tâche) d'une telle épreuve auprès d'une population aux profils hétérogènes rencontrée en pratique clinique courante ainsi qu'à évaluer la concordance entre l'index spatial calculé lors de l'oculométrie et la détection de la NSU par les épreuves papier-crayon classiques précédemment citées.

Méthodes

Participants

Dix patients du service de rééducation neurologique du Centre hospitalier universitaire de Dijon ont été inclus consécutivement dans le cadre d'une suspicion de NSU gauche. Leurs caractéristiques principales sont présentées dans le Tableau 1.

Chaque participant a signé un accord écrit autorisant l'utilisation de ses résultats à des fins de recherche. Ces travaux ont été réalisés en conformité avec la Déclaration d'Helsinki.

Matériel et procédures

Les évaluations ont été réalisées au cours d'un bilan neuropsychologique de routine. La NSU a été évaluée par des épreuves papier-crayon classiquement utilisées dans ce cadre (Azouvi, 2014) et correspondant par ailleurs au type d'épreuves utilisées par Delazer et al. (2018), ainsi que par une tâche d'oculométrie inspirée du protocole de Delazer et al. (2018). Leur ordre de passation était aléatoire. La durée totale d'installation, de passation et de cotation de l'ensemble de ces épreuves était inférieure à 30 minutes.

Tableau 1
Caractéristiques principales des patients évalués

Patient N°	Genre	Latéralité	Âge (ans)	Étiologie	Délai post-lésionnel (en jours)	Particularités notables
1	H	D	58	AVC hémorragique pariéto-occipital droit	90	HLH gauche
2	F	D	51	AVC ischémique superficiel de l'ACM droite	19	
3	F	D	77	AVC ischémique profond de l'ACM droite	44	
4	H	D	69	AVC ischémique superficiel de l'ACM droite	5	
5	H	D	71	AVC ischémique total de l'ACM droite	28	HLH gauche
6	H	D	71	AVC ischémique de l'ACP droite	144	HLH gauche
7	H	D	35	Traumatisme crano-encéphalique avec atteinte hémisphérique droite prédominante	660	
8	H	D	42	AVC ischémique de l'ACP droite	206	HLH gauche, NSU motrice
9	H	D	57	AVC ischémique total de l'ACM droite	1541	HLH gauche
10	F	D	69	AVC de l'ACM droite	60	Démence type Alzheimer

Note. AVC = accident vasculaire cérébral; ACM = artère cérébrale moyenne; ACP = artère cérébrale postérieure; HLH = hémianopsie latérale homonyme; NSU = négligence spatiale unilatérale.

Épreuves papier-crayon. Ces épreuves ont été réalisées sur des feuilles de format A4, orientation paysage, centrées vis-à-vis du patient.

Bissection de lignes (Wilson et al., 1987) : le participant doit indiquer le centre de 3 lignes horizontales de 20,4 cm. Une NSU est détectée s'il existe une déviation de 13 mm ou plus par rapport au point médian.

Barrage de cibles-étoiles (Wilson et al., 1987) : le participant doit barrer 54 cibles présentées parmi 75 distracteurs. Un ratio entre le nombre de cibles détectées dans la moitié gauche de la feuille et le nombre total de cibles traitées est calculé. Un ratio compris entre 0 et 0,45 indique la présence d'une NSU.

Copie de dessin (Osterrieth, 1944) : le participant doit reproduire une figure composée de 18 éléments. Une NSU est détectée lorsque plus de deux éléments sont omis dans la partie gauche de la copie (Rapport et al., 1996).

Tâche de lecture de texte inspirée du subtest « lecture » de la Batterie d'évaluation de la négligence unilatérale (Rousseaux et al., 2001) : le participant doit lire à haute voix un texte de 6 lignes, Times New Roman, police 16. La NSU est constatée en cas d'omission d'au moins un mot en début de ligne.

Les données de chaque volontaire étaient cotées manuellement sur la base de leur production écrite ou orale en fonction de la tâche. Les patients étaient classés comme présentant une NSU à l'évaluation classique s'ils obtenaient un résultat en ce sens à au moins une des épreuves papier-crayon. La durée totale dévolue aux épreuves papier-crayon (c.-à-d., installation du patient, passation et correction) était comprise entre 10 et 20 minutes.

Épreuve d'oculométrie. La tâche décrite ici a été adaptée de celle utilisée par Delazer et al. (2018) (cf. Tableau 2). Dans cette étude, nous avons utilisé un matériel d'oculométrie abordable. Ses caractéristiques techniques sont de base au regard du matériel utilisé par Delazer et al. (2018), comme en témoigne par exemple le taux d'échantillonnage dix fois inférieur. Afin de réduire au maximum la durée de passation en vue de permettre à une telle épreuve d'être incluse dans un bilan neuropsychologique standard, une seule image a été proposée plutôt que dix.

Dans la présente étude, chaque patient était assis face à une tablette de 32 cm de diagonale, équipée du dispositif d'oculométrie Tobii PCEye Mini (Tobii Dynavox®, Danderyd, Suède) constitué d'une barrette munie d'un émetteur/récepteur infrarouge, fixé par un aimant en dessous de l'écran et connecté à la tablette via un port USB. L'écran était centré par rapport au patient et situé à environ 55 cm (cf. Figure 1).

Tableau 2
Comparatif des caractéristiques principales des matériels et procédures utilisées dans la tâche d'exploration visuelle libre présentées dans l'article original de Delazer et al. (2018) et lors de cette étude.

	Procédure originale de Delazer et al.	Procédure utilisée dans cette étude
Matériel oculométrie	Tobii TX300	Tobii PCEye Mini
Logiciel oculométrie	Tobii pro Studio	Tobii Gaze Viewer
Taux d'échantillonnage	300 Hz	30Hz
Nombre d'images	10	1
Durée de passation	10s/image	10s/image
Mesure	Index spatial	Index spatial
Coût matériel et logiciel	≈ 40 000€	≈ 1 100€

Figure 1
Installation du patient devant la tablette équipée du dispositif d'oculométrie



La calibration du matériel a été réalisée pour chaque patient avant chaque test. Ensuite, une photographie cible représentant les 23 joueurs de l'équipe de France de football et leurs quatre entraîneurs posant pour la photographie officielle de 2018 (résolution 1000x625 pixels; Journois, 2018) leur était présentée durant 10 secondes. La consigne était la suivante : « Décrivez ce que vous voyez ».

Le nombre et l'emplacement des points de fixation du regard sur l'image ont ensuite été recueillis manuellement pour chaque volontaire à l'aide de la

fonction Gaze Plot du logiciel Tobii Gaze Viewer. Les points de fixation ont été comptabilisés dans deux zones spécifiques de la photographie (cf. Figure 2) : une région d'intérêt gauche et une droite (RIG et RID; bandes verticales extérieures de 313 pixels de l'image; Delazer et al., 2018).

Figure 2
Représentation des performances d'un patient à l'épreuve d'oculométrie via la fonction Gaze Plot du logiciel Gaze Viewer



Note. Les chiffres traduisent l'ordre et l'emplacement des points de fixation sur l'image présentée. Les lignes verticales ont été ajoutées a posteriori pour représenter la délimitation des RIG et RID. Dans cet exemple, sur les 24 fixations, aucune n'a été réalisée dans la RIG et 18 fixations ont été effectuées dans la RID, ce qui donne un index spatial à +1.

L'index spatial (IS; Delazer et al., 2018) a été calculé pour quantifier l'asymétrie de l'orientation attentionnelle (cf. Équation 1).

Équation 1
Index spatial

$$IS = \frac{\text{Nombre de fixations RID} - \text{Nombre de fixations RIG}}{\text{Nombre de fixations RID} + \text{Nombre de fixations RIG}}$$

Plus l'IS s'éloigne de 0, plus une asymétrie de l'orientation attentionnelle est marquée. Une valeur de -1 ou +1 indique que le patient a respectivement exploré uniquement la RIG ou la RID de la photographie. À partir de leur étude, Delazer et al. (2018) ont déterminé, puis utilisé un score seuil de l'IS à +0,18, correspondant au centile 95 des performances du groupe contrôle. Ce score seuil leur a permis de distinguer les patients présentant ou non une NSU. Nous avons proposé d'utiliser ce même score seuil pour classer nos patients comme présentant ou non une NSU à l'épreuve d'oculométrie si leur IS dépassait +0,18.

La durée totale accordée à l'épreuve d'oculométrie (c-à-d., installation du patient, calibration de l'outil, passation et calcul de l'IS) était d'environ cinq minutes.

Analyses statistiques

Une analyse descriptive des scores obtenus aux épreuves a été effectuée en relevant pour chaque volontaire si une NSU était détectée aux épreuves papier-crayon ainsi qu'à la tâche d'oculométrie. Le nombre de volontaires ayant réalisé la calibration en moins de trois essais et pu compléter la tâche d'oculométrie a été recueilli afin d'évaluer la faisabilité de cette tâche. De plus, afin de mesurer l'accord entre deux techniques de classification sur des données qualitatives non normales, une analyse de concordance à l'aide du Kappa de Cohen (κ) a ensuite été conduite entre :

- La classification obtenue par les épreuves papier-crayon (c.-à-d., présence de NSU ou non, respectivement cotée 1 ou 0). Une note de 1 était attribuée dès lors qu'un sujet avait échoué à au moins un des quatre tests classiques.
- La classification obtenue par l'épreuve d'oculométrie (c.-à-d., présence de NSU ou non, respectivement cotée 1 ou 0). Une note de 1 était attribuée dès lors qu'un sujet présentait un IS supérieur à 0.18.

Un κ compris entre 0 et 0.20 indique un accord très faible; entre 0.21 et 0.40 un accord faible; entre 0.41 et 0.60 un accord modéré; entre 0.61 et 0.80 un accord fort et entre 0.81 et 1 un accord presque parfait (Landis & Koch, 1977).

Résultats

Caractéristiques de la population

On observe une importante hétérogénéité dans les étiologies, l'âge (c.-à-d., entre 35 et 77 ans) et le délai post-lésionnel (c.-à-d., entre 5 et 1 541 jours), comme en témoigne le profil des dix patients évalués (cf. Tableau 1).

Évaluations de la NSU

Le détail des évaluations est présenté au Tableau 3. La classification (c.-à-d., présence ou non de la NSU) par les épreuves classiques et par oculométrie est résumée au Tableau 4.

Tous les patients ont pu compléter l'ensemble des épreuves papier-crayon et réaliser la procédure d'oculométrie dans sa totalité avec une calibration en moins de 3 essais.

Concernant les résultats aux épreuves NSU classiques, trois patients sur dix obtiennent des résultats normaux et sept présentent des performances signant la présence d'une NSU à au moins trois de ces épreuves. Par ailleurs, deux patients sur dix présentent un IS proche de zéro (c.-à-d., - 0.13 et + 0.08) à l'épreuve d'oculométrie et huit ont un IS supérieur à + 0.8, nettement supérieur au score seuil de + 0.18 proposé par Delazer et al. (2018) pour détecter la présence d'une NSU. Ainsi, huit patients ont un IS indiquant une présence de NSU. Ces données sont résumées sous la forme d'un tableau de contingence

Tableau 3

Performances des patients aux épreuves proposées, avec index spatial calculé à partir de la tâche d'oculométrie et présence d'une NSU détectée aux épreuves classiques

Patient n°	Index spatial oculométrie (de -1 à +1)	Nombre d'épreuves papier-crayon échouées	Détail des résultats aux épreuves classiques NSU			
			Bissection de lignes	Recherche de cibles visuelles	Copie de figures complexes	Lecture de textes
1	+1	3	-	+	-	-
2	+1	0	+	+	+	+
3	+0.82	3	-	-	-	+
4	-0.13	0	+	+	+	+
5	+1	3	+	-	-	-
6	+1	4	-	-	-	-
7	+1	3	-	-	-	+
8	+0.08	0	+	+	+	+
9	+1	3	-	+	-	-
10	+1	4	-	-	-	-

Note. Un signe « + » aux épreuves classiques indique des performances normales; un « - » indique des performances reflétant la présence d'une NSU.

(cf. Tableau 4) permettant le calcul du Kappa de Cohen.

Tableau 4

Tableau de contingence présentant la classification des performances des patients via les épreuves classiques versus via la procédure d'oculométrie

		Détection NSU via oculométrie		Total
		NSU absente	NSU présente	
Détection NSU via épreuves classiques	NSU absente	2	1	3
	NSU présente	0	7	7
Total		2	8	10

Note. NSU : négligence spatiale unilatérale.

L'observation des accords entre les deux méthodes d'évaluation montre un taux de 90 % de classifications identiques (c.-à-d., présence ou absence de NSU). La probabilité de détection d'une NSU aux deux méthodes était de 56 % et la probabilité de non-détection d'une NSU à ces deux méthodes était de 6 %, pour une probabilité globale d'accord de 62 %. L'analyse de la concordance entre les capacités de détection d'une NSU par les épreuves classiques via les scores et par l'épreuve d'oculométrie via l'IS a montré un accord fort entre ces deux méthodes ($\kappa = 0.74$; $p < .01$).

Discussion

L'objectif de ce travail était de proposer une épreuve d'oculométrie simplifiée inspirée par Delazer et al. (2018), sur un matériel abordable destiné à l'usage individuel en pratique courante. Nos résultats suggèrent une bonne faisabilité de ce protocole dans un contexte clinique auprès d'une population de patients aux profils hétérogènes. La forte concordance trouvée entre les outils classiques et le test d'oculométrie suggère que l'index spatial calculé lors de cette épreuve pourrait être un indicateur pertinent afin de distinguer la présence ou non d'une NSU.

Faisabilité

Le protocole simplifié de l'épreuve d'oculométrie de Delazer et al. (2018) proposé dans cette étude semble applicable dans le cadre d'une utilisation en pratique courante. En effet, cette version procure une évaluation rapide (c.-à-d., moins de cinq minutes comparativement à plus de 10 minutes pour les tests classiques) qui peut ainsi être aisément intégrée au bilan neuropsychologique standard. Elle donne une mesure facilement interprétable (c.-à-d., l'IS) permettant de quantifier la présence d'un éventuel

biais attentionnel. De plus, l'ensemble des patients inclus ont pu effectuer la tâche d'oculométrie (c.-à-d., calibration et passation), montrant la bonne faisabilité de cette épreuve au sein d'une population aux profils hétérogènes (c.-à-d., étiologies, comorbidités, âges et délai post-lésion variés). D'une part, l'accomplissement de la passation n'a pas semblé être limité par la présence de comorbidités impactant la sphère cognitive. Notamment, la patiente N°10, atteinte d'une démence de type Alzheimer à un stade modéré avec un score de 16/30 au Mini Mental State Examination (Kalafat et al., 2003) a réalisé la tâche sans difficulté notable. D'autre part, la présence d'une hémianopsie latérale homonyme (patients N°1, 5, 6, 8 et 9) n'a pas paru altérer les capacités de détection du test (c.-à-d., présence d'une NSU ou non), en accord avec les résultats présentés par Delazer et al. (2018).

Concordance

Dans cette étude, l'utilisation de l'IS issu de l'oculométrie a montré une concordance forte avec les épreuves papier-crayon dans les capacités de détection de la NSU. En effet, l'ensemble des patients qui montraient des résultats en faveur d'une NSU à l'évaluation classique obtenaient également des performances en ce sens en oculométrie. Seul le volontaire N°2 a présenté des résultats contradictoires avec une absence de détection d'une NSU aux épreuves classiques, mais avec la présence d'un IS supérieur au score seuil en oculométrie. L'analyse rétrospective des productions de ce patient aux tests papier-crayon montre qu'il a démarré les épreuves de copie de dessin et de recherche de cibles depuis la partie droite de la feuille, indice qualitatif considéré comme susceptible d'indiquer la présence d'un biais attentionnel associé à une NSU (Azouvi, 2014). Les épreuves informatisées étant considérées comme plus sensibles que les tests papier-crayon dans la détection d'une NSU (Bonato & Deouell, 2013), une évaluation complémentaire à l'aide du subtest « Négligence » de la TAP 2.3 (Zimmermann & Fimm, 2010) lui a également été proposée. Celle-ci a montré une discrète majoration des temps de réaction (TR) et de la variabilité des performances dans l'hémichamp gauche (TR médian = 439 ms [centile 30], É.-T. = 146, aucune cible omise) versus droit (TR médian = 407 ms [centile 50], É.-T. = 90, aucune cible omise). Les résultats de ce volontaire sont par ailleurs en accord avec les résultats obtenus par Delazer et al. (2018), dont la majorité des patients cérébrolésés droits (c.-à-d., neuf patients sur onze) obtenaient des résultats normaux aux épreuves papier-crayon et présentaient néanmoins un IS supérieur au score seuil fixé pour détecter une NSU. L'hypothèse proposée par ces auteurs est que cette épreuve d'oculométrie procurerait une évaluation de l'exploration visuelle spontanée, reflet de l'orientation automatique de

l'attention, indicateur considéré comme présentant une meilleure validité écologique que les épreuves classiques (Azouvi et al., 2002). De façon pragmatique, on peut supposer que l'IS obtenu par le patient N°2 pourrait traduire la présence d'un biais attentionnel non détecté dans les données quantitatives issues des épreuves papier-crayon classiques.

Limites

Ce travail présente toutefois quelques limites. Le faible nombre de patients évalués et l'hétérogénéité de leur profil restreignent la généralisation des résultats. Toutefois, cette hétérogénéité reflète l'activité pratique quotidienne. La photographie utilisée est également une source potentielle de biais en raison de l'attraction probable du regard pour certains joueurs. De plus, l'utilisation d'une seule image sur une durée de dix secondes pourrait être susceptible de favoriser le risque de faux positifs. Par ailleurs, en raison de sa simplicité, le matériel utilisé ne permet pas de mesurer certaines dimensions potentiellement pertinentes à prendre en compte dans l'évaluation de la NSU, telles que les microsaccades. Enfin, cette épreuve ne mesure la NSU qu'en modalité visuo-perceptive et uniquement dans un référentiel péripersonnel. Elle ne saurait ainsi évaluer l'ensemble des composantes concernées par l'expression des symptômes de la NSU. Par exemple, le patient N°8 présentait une absence de NSU détectée lors de l'épreuve d'oculométrie malgré une NSU circonscrite à l'espace personnel se manifestant par une sous-utilisation de l'hémicorps gauche constatée cliniquement et confirmée par la procédure proposée par Bisiach et al. (1986).

Conclusion

Ces résultats tendent à confirmer de nouvelles perspectives prometteuses dans l'évaluation de la NSU par le calcul d'un index spatial à partir d'un matériel d'oculométrie techniquement accessible et financièrement abordable. Cette procédure est rapide et bien tolérée auprès d'une population clinique hétérogène, rendant possible son utilisation dans le cadre d'un bilan neuropsychologique réalisé en pratique courante. La mesure proposée apparaît au moins aussi sensible que les outils de base classiquement utilisés dans ce cadre. Il sera nécessaire de mener de nouvelles études visant à préciser les paramètres optimaux de la procédure, notamment en termes d'image à utiliser et de durée d'exploration. Il conviendra ensuite de préciser les qualités psychométriques d'un protocole d'oculométrie simplifié inspiré de Delazer et al. (2018). La validation d'une épreuve standardisée paraît aussi pertinente qu'envisageable afin de fournir aux thérapeutes un outil leur permettant d'améliorer l'évaluation et par extension la prise en charge de la NSU.

Références

- Azouvi, P., Samuel, C., Louis-Dreyfus, A., Bernati, T., Bartolomeo, P., Beis, J.-M., Chokron, S., Leclercq, M., Marchal, F., Martin, Y., De Montety, G., Olivier, S., Perennou, D., Pradat-Diehl, P., Prairial, C., Rode, G., Siéroff, E., Wiart, L., Rousseaux, M., & French Collaborative Study Group on Assessment of Unilateral Neglect (GEREN/GRECO). (2002). Sensitivity of clinical and behavioural tests of spatial neglect after right hemisphere stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *73*, 160-166. <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.2.160>
- Azouvi, P. (2014). L'évaluation de la négligence unilatérale et des autres troubles visuo-spatiaux. Dans X. Seron & M. Van der Linden, *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte, tome I : Evaluation* (p. 433-460). Deboeck-Solal.
- Azouvi, P. (2017). The ecological assessment of unilateral neglect. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *60*, 186-190. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.12.005>
- Bartolomeo, P. & Chokron, S. (2002). Orienting of attention in left unilateral neglect. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *26*, 217-234. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(01\)00065-3](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(01)00065-3)
- Berger, M. F., Pross, R. D., Ilg, U. J., & Karnath, H. O. (2006). Deviation of eyes and head in acute cerebral stroke. *BioMed Central Neurology*, *6*, 23. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-6-23>
- Bisiach, E., Perani, D., Vallar, G., & Berti, A. (1986). Unilateral neglect: Personal and extra-personal. *Neuropsychologia*, *24*, 759-767. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(86\)90075-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(86)90075-8)
- Bonato, M. (2012). Neglect and extinction depend greatly on task demands: A review. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 195. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00195>
- Bonato, M. & Deouell, L. Y. (2013). Hemispatial neglect: Computer-based testing allows more sensitive quantification of attentional disorders and recovery and might lead to better evaluation of rehabilitation. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 162. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00162>
- Buxbaum, L. J., Ferraro, M. K., Veramonti, T., Farne, A., Whyte, J., Ladavas, E., Frassinetti, F., & Coslett, H. B. (2004). Hemispatial neglect: Subtypes, neuroanatomy, and disability. *Neurology*, *62*, 749-756. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000113730.73031.f4>
- Delazer, M., Sojer, M., Ellmerer, P., Boehme, C., & Benke, T. (2018). Eye-tracking provides a sensitive measure of exploration deficits after acute right MCA stroke. *Frontiers in Neurology*, *9*, 359. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00359>
- Heilman, K. M., Valenstein, E., & Watson, R. T. (2000). Neglect and related disorders. *Seminars in*

- in *Neurology*, 20, 463-470. <https://doi.org/10.1055/s-2000-13179>
- Hoffman, J. E. & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, 57, 787-795. <https://doi.org/10.3758/bf03206794>
- Journois, A. (2018). *Coupe du monde 2018 : les Bleus prennent la pose en maillot et en costume [image numérique]*. <http://www.leparisien.fr/sports/football/coupe-du-monde/coupe-du-monde-2018-la-photo-officielle-de-l-equipe-de-france-devoilee-30-05-2018-7743663.php>
- Kalafat, M., Hugonot-Diener, L., & Poitrenaud, J. (2003). Standardisation et étalonnage français du Mini Mental State (MMS) version GRECO. *Revue de Neuropsychologie*, 13, 209-236.
- Kortman, B. & Nicholls, K. (2016). Assessing for unilateral spatial neglect using eye-tracking glasses: A feasibility study. *Occupational Therapy in Health Care*, 30, 344-355. <https://doi.org/10.1080/07380577.2016.1208858>
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Müri, R. M., Cazzoli, D., Nyffeler, T., & Pflugshaupt, T. (2009). Visual exploration pattern in hemineglect. *Psychological Research*, 73, 147-157. <https://doi.org/10.1007/s00426-008-0204-0>
- Nijboer, T., van de Port, I., Schepers, V., Post, M., & Visser-Meily, A. (2013). Predicting functional outcome after stroke: The influence of neglect on basic activities in daily living. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 182. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00182>
- Ouerhani, N., Von Wartburg, R., Hugli, H., & Muri, R. (2004). Empirical validation of the saliency-based model of visual attention. *ELCVIA Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 3, 13. <https://doi.org/10.5565/rev/elcvia.66>
- Osterrieth, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire. *Archives de Psychologie*, 30, 286-356.
- Pflugshaupt, T., Bopp, S. A., Heinemann, D., Mosimann, U. P., von Wartburg, R., Nyffeler, T., Hess, C. W., & Müri, R. M. (2004). Residual oculomotor and exploratory deficits in patients with recovered hemineglect. *Neuropsychologia*, 42, 1203-1211. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.02.002>
- Privitera, C. M. & Stark, L. W. (2000). Algorithms for defining visual regions-of-interest: Comparison with eye fixations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22, 970-982. <https://doi.org/10.1109/34.877520>
- Rapport, L. J., Farchione, T. J., Duua, R. L., Webster, J. S., & Charter, R. A. (1996). Measures of hemi-inattention on the rey figure copy for the lezak-osterrieth scoring method. *The Clinical Neuropsychologist*, 10, 450-454. <https://doi.org/10.1080/13854049608406705>
- Rousseaux, M., Beis, J. M., Pradat-Diehl, P., Martin, Y., Bartolomeo, P., Bernati, T., Chokron, S., Leclercq, M., Louis-Dreyfus, A., Marchal, F., Perennou, D., Prairial, C., Rode, G., Samuel, C., Sieroff, E., Wiart, L., & Azouvi, P. (2001). Présentation d'une batterie de dépistage de la négligence spatiale : normes et effets de l'âge, du niveau d'éducation, du sexe, de la main et de la latéralité [Presenting a battery for assessing spatial neglect: Norms and effects of age, educational level, sex, hand and laterality]. *Revue Neurologique*, 157, 1385-1400. Norms and effects of age, educational level, sex, hand and laterality]. *Revue Neurologique*, 157, 1385-1400.
- Sprenger, A., Kömpf, D., & Heide, W. (2002). Visual search in patients with left visual hemineglect. *Progress in Brain Research*, 140, 395-416. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(02\)40065-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(02)40065-9)
- Verdon, V., Schwartz, S., Lovblad, K. O., Hauert, C. A., & Vuilleumier, P. (2010). Neuroanatomy of hemispatial neglect and its functional components: A study using voxel-based lesion-symptom mapping. *Brain*, 133, 880-894. <https://doi.org/10.1093/brain/awp305>
- Vuilleumier, P. & Saj, A. (2013). Hemispatial neglect. In O. Godefroy (Ed.), *The behavioral and cognitive neurology of stroke*, 126-157. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139058988.013>
- Wilson, B., Cockburn, J., & Halligan, P. (1987). Development of a behavioral test of visuospatial neglect. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 68, 98-102.
- Zimmermann, P. & Fimm, B. (2010). Test d'évaluation de l'attention (TAP: "Test of Attentional Performance"), version 2.3. Psytest.

Reçu le 10 janvier 2020
Révision reçue le 8 mai 2020
Accepté le 13 juillet 2021 ■

Assessment of verbal and visual episodic memory, post-concussive complaints, and their relationship following mild traumatic brain injury

Imene Kochbati¹, M. Sc., Hélène Audrit², M. Sc., Maude Laguë-Beauvais^{3,4}, Ph. D., Simon Tinawi³, M.D. et Éline de Guise^{2,5,6}, Ph. D.

¹Département de psychologie, Université de Grenoble

²Département de psychologie, Université de Montréal

³Traumatic Brain Injury Program, McGill University Health Center

⁴Department of Neurology and Neurosurgery, McGill University

⁵Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain

⁶Research Institute, McGill University Health Center

Neuropsychological deficits following mild traumatic brain injury (mTBI) are usually discrete and sometimes hard to detect. This study aimed to evaluate relationships between episodic memory and post-concussive symptoms (PCS). The sample was composed of 55 participants aged between 20 to 64, including 25 patients with mTBI and 30 healthy control participants. Participants completed the *Rey Auditory Verbal Learning Test*, the *Rey-Osterrieth Complex Figure*, and other questionnaires measuring the intensity of memory complaints, fatigue, and sleep quality. An analysis of the data revealed: 1) no significant differences between both groups in episodic memory performance, in either the verbal or visual modalities; 2) that the intensity of PCS was significantly higher than expected in the normal population (i.e., no PCS symptoms); and 3) no significant association between PCS and memory performance. Those results suggest that, even though patients with mTBI complain about significant memory difficulties and PCS, neuropsychological tests most used in clinics do not objectify those memory complaints.

Keywords: mild traumatic brain injury, episodic memory, *Rey-Osterrieth Complex Figure*, *Auditory Verbal Learning Test*, post-concussion symptoms

Les déficits neuropsychologiques à la suite d'un traumatisme craniocérébral léger (TCCL) sont généralement discrets et parfois difficilement détectables. Le but de cette étude était d'explorer le lien entre la mémoire épisodique et les symptômes post-commotionnels (SPC). L'échantillon était composé de 55 patients âgés entre 20 et 64 ans, où 25 ont subi un TCCL et où les 30 autres sont inclus dans le groupe contrôle. Les participants ont réalisé le *Rey Auditory Verbal Learning Test*, le *Rey-Osterrieth Complex Figure* et d'autres questionnaires mesurant l'intensité des plaintes mnésiques, de la fatigue et de la qualité du sommeil. L'analyse des données a pu mettre en évidence : 1) une absence de différence significative des performances mnésiques, de modalités verbale et visuelle entre les deux groupes; 2) l'intensité significative des SPC par rapport à ce qui est attendu dans la population normale (c.-à-d., aucun SPC); et 3) une absence de lien entre les SPC et les performances mnésiques. Ces résultats suggèrent que, malgré le fait que les patients TCCL se plaignent de difficultés de mémoire et de SPC importants, les tests neuropsychologiques les plus utilisés en clinique ne permettent pas d'objectiver ces plaintes mnésiques.

Mots-clés : traumatisme craniocérébral léger, mémoire épisodique, *Rey-Osterrieth Complex Figure*, *Rey-Taylor Auditory-Verbal Learning Test*, symptômes post-commotionnel

Mild traumatic brain injury (mTBI) is a neurological disorder, which occurs when the brain functioning is disrupted due to an external force (Menon et al., 2010), is a public health concern. Even though it is the mildest category of traumatic brain

injury, it is the cause of many medical consultations in adults (Truchon et al., 2018). It accounts for between 80% and 90% of all TBIs in the global adult population (Skandsen, 2019). Around 42 million people worldwide suffer a mTBI every year (Gardner, 2015). Following mTBI, patients express post-concussive symptoms (PCS). Most reported complaints in the first three months post-accident (i.e., acute phase) are memory impairment, fatigue, and sleep disturbance. These symptoms may persist over time and become chronic, beyond three months (i.e., post-acute phase; Cassidy et al., 2014).

Correspondence concerning this article should be addressed to /
La correspondance concernant cet article doit être adressée à :

Imene Kochbati, Département de psychologie, Université de Grenoble

Courriel/e-mail: imene.emma.kochbati@gmail.com

Episodic memory impairment following mTBI

Episodic memory (EM) is:

An information processing system that (a) receives and stores information about temporally dated episodes or events, and about temporal-spatial relations among these events, (b) retains various aspects of this information, and (c) upon instructions transmits specific retained information to other systems, including those responsible for translating it into behavior and conscious awareness. (Tulving, 2002)

EM impairment in the verbal or visual modality refers to either the inability to learn new information (i.e., anterograde memory) or to recall a memory (i.e., retrograde memory) on a long-term basis. Memory performance is frequently impaired following mTBI and is most often the subject of patient complaints in the acute phase (Cassidy et al., 2014; Tayim et al., 2016) and post-acute phase (Dikmen et al., 2010). A meta-analysis published by Bélanger et al. (2005) revealed a significant decrease in delayed memory performance and the ability to learn new information in patients who have suffered mTBI. These results are supported by a study from Dikmen and colleagues (2017), which has shown that the memory performance in verbal modality is significantly lower in patients with mTBI than that of the healthy control group one month after the accident. Similarly, a study by Tayim and collaborators (2016) shows that mTBI affects short-term verbal memory. Regarding visual memory, studies have shown an alteration of this form of memory as, compared to a control group, patients who have undergone a mTBI have lower scores (Gaines et al., 2015; L'Écuyer-Giguère et al., 2019). In addition, patients with mTBI are aware of their memory difficulties, which are their main complaint (Anderson & Schmitter-Edgecombe, 2009), as a decrease in memory efficiency in EM disrupts their daily functioning in terms of managing simple (e.g., attending appointments on time) and complex tasks (e.g., at work; Carroll et al., 2004; Carroll et al., 2014; Dikmen et al., 2010).

To better understand the causes of these memory deficits, it is important to determine the brain areas most often affected by mTBI. The areas most affected following mTBI are generally the frontal and temporal lobes (Phillips et al., 2017). These two regions play a key role in learning and recall processes, which explains why memory is often impacted after this type of injury. Various neuroimaging studies have contributed to a better understanding of the impact of mTBI on memory. Levine (2002) compared the brain activation of a control group and a TBI group of any severity when performing a memory task. No

significant differences were found between the two groups in behavioral test performance. In terms of brain activation, during the execution of the task, the two groups used the frontal, temporal and parietal regions associated with the restitution of an episodic event. However, in the TBI patients' group, the frontal and occipital regions, as well as the anterior cingulate regions, were additionally solicited. The greater activations reported in the mTBI group could be explained by a neural reorganization due to the injury. Similarly, altered diffusivity of the hippocampal subregions, indicative of altered microstructural integrity of grey matter, has been found in mTBI patients (Leh et al., 2017).

Relationship between post-concussive symptoms and memory following mTBI

In addition to possible damage to the brain areas responsible for mediating memory function, other factors concomitant with mTBI may impair proper memory functioning. These factors include the presence of PCS. In this study, we will focus on fatigue and sleep, the most reported symptoms in the acute phase (Ponsford & Sinclair, 2014; Wylie & Flashman, 2017).

Fatigue

Fatigue is a multidimensional phenomenon, with four main subtypes: cognitive fatigue, physical fatigue, emotional fatigue, and stress-related fatigue (Wylie & Flashman, 2017). Cognitive fatigue results from the extra effort required for the brain to process information and subsequently causes slowness (McAllister et al., 1999; Ozen et al., 2013; Wylie & Flashman, 2017). Performing a cognitive task in an intense or prolonged manner generates mental fatigue.

This phenomenon is one of the major sequelae of mTBI (Johansson & Rönnbäck, 2017; Ponsford et al., 2019; Schiehser et al., 2016; Stullemeijer et al., 2006; Wylie & Flashman, 2017). A significant number of patients with mTBI report mental fatigue after their accident, which is considered subjective and difficult to define and measure (Iverson et al., 2010). This decrease in energy plays a major role in the ability to learn new information, memorize it, and recall it (Jonasson et al., 2018). All these memory performances also require greater attentional demands and an increased neuronal energy cost (Jonasson et al., 2018; McAllister et al., 1999). Overall, fatigue is characterized by a rapid decline in energy and longer recovery time and can become a long-term problem impacting the return to work, school, and resumption of daily activities and the quality of life of individuals who have undergone mTBI (Johansson et al., 2017; Stullemeijer et al., 2006; Wylie & Flashman, 2017).

Sleep disorders

Following mTBI, 30% to 70% of patients suffer from sleep disorders (Viola-Saltzman & Musleh, 2016). These patients describe their complaints as insomnia (i.e., difficulty falling asleep or staying asleep) or drowsiness (i.e., strong urge to sleep). Sleep disorders may result from derangement of the sleep-wake cycle or secondary factors such as depression and anxiety (Losoi et al., 2016; Ponsford & Sinclair, 2014; Wylie & Flashman, 2017). In a study by Ponsford and Sinclair (2014), following brain injury of any severity, patients often had higher levels of sleepiness, increased need for naps, longer sleep latency, and significantly poorer sleep quality than the control group. This may subsequently disrupt the recovery and resumption of lifestyle habits (Losoi et al., 2016; Wylie & Flashman, 2017). Disruption of the sleep-wake regulation center could accentuate physical and cognitive disorders, particularly memory disorders. Indeed, sleep plays a key role in the consolidation of learning and optimizes memory (Gais, 2006). During slow-wave sleep, there is a neuronal reactivation of the information learned, reinforcement of synapses, and a transfer of this activation to the cortical level, which makes it possible to keep track of memories over the long term (Frankland & Bontempi, 2005). Similarly, sleep is also involved in the association of knowledge learned differently (e.g., information integration and generalization of learning; Ellenbogen et al., 2009). Thus, sleep improves recall performance and saves learning time (Mazza, 2016). Wheaton (2011) studied the impact of poor sleep quality in a population of healthy subjects. He demonstrated that a decrease in the amount of sleep leads to drowsiness and fatigue, which are responsible for concentration difficulties and therefore memory difficulties. Several studies have highlighted the relationship between sleep and fatigue. The study by Schiehser et al. (2016) looked at the relationship between these two PCS following mild to moderate TBI and noted that sleep quality predicts cognitive fatigue. No study so far has shown a causal relationship between sleep quality and cognitive fatigue. We cannot conclude that one causes the other. However, what could be noted is that sleep quality impacts fatigue and is likely to exacerbate memory problems.

Objectives and hypotheses

In short, few studies have evaluated the post-acute impacts of mTBI on EM functioning, and none, to our knowledge, have explored the relationship between PCS and EM. Thus, the aims of this study were to 1) assess the memory performance in the visual and verbal modalities; 2) assess the memory complaints and PCS of patients who have undergone mTBI; and

3) explore the relationship between PCS, especially fatigue and sleep, and memory performances.

To assess EM performance following mTBI, we compared mTBI patients with a matched control group, using the *Rey-Taylor Auditory-Verbal Learning Test* (RAVLT) to assess verbal memory, and the *Rey-Osterrieth Complex Figure* (ROCF) test to assess visual memory. The review of the literature led us to hypothesize that the mTBI group would have lower performance in verbal and visual memory than the control group. To address the second objective, we compared the PCS scores of the mTBI patients with what is normally expected in the healthy population (i.e., the absence of PCS). We expected a significantly higher memory complaint, fatigue level, and poorer sleep quality than expected in a healthy population without mTBI. In addition, we expected to find a relationship between memory performance in both the verbal and visual modalities and PCS. In this sense, PCS should predict RAVLT and ROCF scores.

Method

Participants

mTBI patients.

Inclusion criteria. Patients had to be 18 years of age or older, fluent in English or French, and medically diagnosed with mTBI by a physician. To be included in the study and be defined as mTBI, patients were required to have a *Glasgow Coma Scale* (GCS) score between 13 and 15, 30 minutes after the injury or later upon presentation in the emergency department. The GCS tool is used to reliably measure a person's level of consciousness after a traumatic brain injury. The GCS assesses a person based on their ability to perform eye movements (i.e., 5 points), speak (i.e., 5 points), and move their body (i.e., 5 points), for a total of 15 points. Participants also presented one or more of the following signs: 1) confusion or disorientation; 2) loss of consciousness for less than 30 minutes; 3) post-traumatic amnesia for less than 24 hours; or 4) other transient neurological abnormalities (e.g., focal signs, convulsions, intracranial lesions not requiring surgery). All patients included in this study were symptomatic and followed in an out-patient mTBI clinic for symptoms management.

Exclusion criteria. mTBI patients with neurological disorders that weren't associated with mTBI, an active psychiatric disorder (e.g., psychosis), a history of TBI or substance abuse in the past five years, neurodevelopmental disorders (e.g., ADHD), or an intellectual disability were not included in the study. A history of depression or anxiety disorder was not an exclusion criterion as well as previous mild

traumatic brain injuries, as this is a possible contributing factor to the persistence of PCS (Carroll et al., 2004; Kumar et al., 2014).

Control participants. Patients in the control group, aged 18 years or older and fluent in English or French, with no previous traumatic brain injury, were recruited from the community using classified ads. The exclusion criteria were the same as for the mTBI patients.

Procedure

In this retrospective study, patients were referred from the Emergency Department of the Montreal General Hospital of the McGill University Health Centre. Within the first month following their accident and visit to the Emergency Department, patients were diagnosed with mTBI by specialists at the Montreal General Hospital mTBI Outpatient Clinic and according to the *World Health Organization Task Force criteria* (Cassidy et al., 2004). Patients were then referred for neuropsychological assessment the following week. A neuropsychological evaluation was carried out between four and eight post-accident weeks. All patients performed three hours assessment during which they had to complete questionnaires and neuropsychological tests such as 1) the *Rivermead Post-concussion questionnaire* (RPQ); 2) the *Vocabulary and Matrix Reasoning*, two subtest-form of the *Wechsler abbreviated Scale of Intelligence* (WASI-II); 3) the *Pittsburg Sleep Quality Index* (PSQI); 4) the *Multidimensional Fatigue Inventory* (MFI); 5) the *Digit Span*, a subtest from the *Wechsler Adult Intelligence Scale* (WAIS-IV); 6) RAVLT; and 7) ROCF. Those tests were administered in a standardized order avoiding interference from the verbal and visual modalities between delays for the memory tests.

Data collection. Demographic and medical data related to the accident, as age, education, and sex, were collected retrospectively from patients' medical records. It included the mechanism of injury (e.g., motor vehicle accident, fall, assault, suicide attempt), the presence of loss of consciousness and post-traumatic amnesia, and the GCS score. The neuropsychological data of the clinical group (i.e., RAVL and ROCF), PCS complaints (i.e., RPQ), and sleep and fatigue measures (PSQI and MFI) were collected from the Audrit and al. research trial (2021). To evaluate EM, both the RAVLT and the ROCF were administered in the standardized procedure for replication purposes because they are the most popular neuropsychological measures of verbal and visual memory. For the control group, assessments were performed at the Marie-Victorin Pavilion or the Laval campus of the Université de Montréal.

Recruitment of outpatients with mTBI took place between November 2015 and October 2017 at the Montreal General Hospital, a tertiary trauma care center. All volunteers gave their consent before participating in the experiment. The Research Ethics Board of the McGill University Health Centre and the Research Ethics Board for Education and Psychology of the Université de Montréal approved this study.

Instruments.

Rey-Taylor Auditory-Verbal Learning Test (RAVLT). This EM test is presented in the form of a list of 15 words. The list is learned in five successive presentations, followed by immediate recall after each presentation, then an interference test involving the presentation and recall of another 15-word list, followed by immediate recall and recognition of the original list. Then, 20 min after a delayed recall of the original list and, in the end, a delayed recognition test. The RAVLT assesses immediate memory span, new learning, susceptibility to interference, and recognition memory (Spren & Strauss, 1998). It also allows for the construction of a learning curve as the tests progress. A total score between 0 and 15 could be obtained for each trial in the learning phase and the three forms of recall (i.e., immediate, delayed, and recognition). A high score indicates better verbal memory performance. For the present study, scores of the learning curve (i.e., R1, R2, R3, R4, and R5), immediate recall, delayed recall, and recognition were computed.

Rey-Osterrieth Complex Figure test (ROCF). This neuropsychological test allows for the objective evaluation of episodic visual/visuospatial memory with the help of a complex drawing. It is composed of 18 elements organized in three parts: an overall shape, external elements, and internal elements (Crowin and Bylsma, 1993; Rey, 1941; Shin and all, 2006). ROCF allows the evaluation of different cognitive processes, such as planning, spatial organization, visuo-perceptive and construction skills, and memory with delayed recall (Spren & Strauss, 1998). The test is carried out in four stages. First, the subject is asked to copy the figure as well as possible (i.e., incident learning), followed by an immediate recall three minutes later. At the immediate recall after three minutes, the participant is asked to redraw what he remembers from the drawing. Then, a delayed recall is performed after 30 minutes, followed by a figure recognition test (Meyers and Meyers, 1995). A total score between 0 and 36 can be obtained for each type of recall (i.e., immediate, delayed, and recognition). A high score indicates better visual memory performance. Scores of immediate recall, delayed recall, and recognition were considered in the analyses.

Pittsburg Sleep Quality Index (PSQI). Sleep disorders were assessed using the PSQI questionnaire (Buysse et al., 1989). The PSQI, widely used in clinical and research settings, has been validated as a screening tool for sleep problems in a mTBI population (Fichtenberg et al., 2001). This self-report questionnaire, which assesses sleep quality, includes 19 items rated on a three-point scale. It measures seven components of sleep perception: sleep quality, sleep latency, sleep duration, usual sleep efficiency, poor daytime sleepiness as well as drowsiness, nocturnal sleep disturbance, and use of a sleep-promoting medication. The overall score, ranging from 0 (i.e., *no difficulty*) to 21 (i.e., *major difficulty*), makes it possible to distinguish between "good" and "poor" sleepers. Subjects with a PSQI greater than five are considered poor sleepers with poor sleep quality.

Multidimensional Fatigue Inventory (MFI). This questionnaire consists of 20 items that measure five components: general fatigue, physical fatigue, mental fatigue, reduced activity, and reduced motivation. Each subscale consists of four questions. The subject is asked to answer each question using a Likert-type scale ranging from 1 (i.e., *strongly disagree*) to 5 (i.e., *strongly agree*; Smets et al., 1995). A total score ranging from 5 to 20 for each dimension of fatigue was analyzed. The higher the score, the greater the level of fatigue. It is important to note that there is no standard for interpreting the total score derived by adding up scores from the subscales. However, sex- and age-specific cut-off scores have been proposed for the *General Fatigue subscale* (Schwarz et al., 2003; Singer et al., 2011).

Rivermead Post-concussion Symptoms Questionnaire (RPQ). The presence and severity of post-concussive symptoms were assessed using the RPQ questionnaire (King et al., 1995). This questionnaire has been validated with individuals who have had mTBI (Medvedev et al., 2018). The RPQ consists of 16 symptoms that assess three categories: somatic complaints, cognitive complaints, and affective complaints (Smith-Seemiller et al., 2003). Patients were asked to compare their status to their pre-accident status. For the present study, three symptoms were assessed: fatigue, sleep disturbance, and memory. Symptoms were evaluated on four points ranging from 0 (i.e., *not at all experienced*) to 4 (i.e., *important symptom*). Scores of 1 (i.e., *symptom present before the accident and unchanged since*) have been excluded from the score calculation as they represent premorbid symptoms.

Statistical analyses. All statistical tests of the hypothesis were carried out at a level of significance of 0.05. All analyses were performed using IBM SPSS statistics 24.0. Descriptive data are presented (i.e., mean, percentage, and standard deviation). For

categorical variables, counts and percentages were reported. The groups were compared on the variables age and educational level using *t* test for normally distributed scores and using Mann-Whitney's *U* test of independent samples for non-parametric performances. The groups were compared on the variable sex using a chi square.

Parametric (i.e., one-factor ANOVA) and non-parametric (i.e., Mann-Whitney's *U*) test analyses were performed to determine whether there was a significant difference between the mTBI and control groups for the different recall trials, immediate recall, delayed recall, and recognition.

Verbal and visual memory tests, standard scores (*z*-test result) of mTBI patients were also analyzed. The percentage of patients with two standard deviations or more was also reported.

As mentioned in the previous section, three symptoms of PCS were the subject of our study: memory, fatigue, and sleep. Three questionnaires were used: RPQ, MFI, and PSQI. Descriptive data from the RPQ questionnaire are presented in percentage. We thus proceeded to objectify the severity of the symptoms reported by patients with a one-sample *t*-test. We then compared the average intensity of the symptom reported by patients to zero (i.e., no symptoms). For MFI questionnaire, we analyzed the five subscales separately. We also compared mTBI patients' general fatigue scores to the threshold score that suggests the presence of significant generalized fatigue (Schwarz et al., 2003; Singer et al., 2011). For the PSQI questionnaire, we compared mTBI scores to the threshold score. Subjects with a PSQI greater than or equal to five are considered to have poor sleep quality. We also compared the average of mTBI patients' scores to the threshold with a student *t*-test for independent samples.

For our third objective, which is exploratory in nature, simple linear regressions were performed to test whether the intensity of memory difficulties, level of fatigue, and sleep quality are predictors of memory performance in the delayed recall conditions.

Results

Participants

In this study, 55 participants, including 25 patients with mTBI (i.e., 10 men, 15 women, aged 20 to 61 years) and 30 control participants (i.e., 12 men and 18 women aged 20 to 64 years) were included. Both groups were matched for age and education (cf. Table 1). We performed a parametric test for independent samples, $t(53) = 0.51$, $p = .62$, and no significant difference was found in age between the two groups. Nevertheless, in terms of education, we conducted a

Table 1

Mean and standard deviation for age and education in mTBI and control groups

Variables	Group	N	M	SD
Age	mTBI	25	38.92	12.02
	Control	30	37.30	11.66
Education	mTBI	24	17.71	3.69
	Control	30	17.37	2.33

Note. One missing data point for education in the mTBI group; *M* = mean; *SD* = standard deviation.

non-parametric test (Mann-Whitney's *U*-test of independent samples, $p = .99$) which indicated that the participants in the two groups did not differ significantly concerning their education levels. Finally, the groups did not differ with respect to their sex, $\chi^2(2, N = 55) = 2.6, p = .39$.

Analyses of differences between mTBI and control groups

Verbal memory using RAVLT. To compare the performance between the mTBI and control groups, only the data from the first recall of the RAVLT met the conditions for the application of a parametric test: a normal distribution, $\bar{W} = 0.97, p = .15$, as well as homogeneity of the variance, $F(1, 55) = 0.01, p = .93$. Therefore, we performed a one-factor ANOVA. For the other variables (i.e., R2, R3, R4, R5, IR, DR, and Rec), we carried out non-parametric tests (i.e., Mann Whitney's *U*).

The means and standard deviations for each group on the RAVLT test are shown in Table 2. As shown in Table 1, no significant group differences were found on the RAVLT for immediate recall, $U = 675, p = .67$, delayed recall, $U = 647, p = .36$, or recognition, $U = 680.5, p = .71$.

Table 2

Means and standard deviation of RAVLT scores for immediate recall, delayed recall, and recognition for the mTBI and control groups

	RAVLT.IR	RAVLT.DR	RAVLT.Rec
mTBI	<i>M</i> = 11.22	<i>M</i> = 11.31	<i>M</i> = 14.28
	<i>SD</i> = 2.84	<i>SD</i> = 2.44	<i>SD</i> = 1.05
Controls	<i>M</i> = 11.80	<i>M</i> = 11.87	<i>M</i> = 14.43
	<i>SD</i> = 1.83	<i>SD</i> = 1.57	<i>SD</i> = 0.82

Note. DR = delayed recall; IR = immediate recall; *M* = mean; Rec = recognition; *SD* = standard deviation.

Table 3

Means and standard deviation of RAVLT scores in the learning phase for the mTBI group and control group

	R1	R2	R3	R4	R5
mTBI	<i>M</i> = 6.8	<i>M</i> = 10.12	<i>M</i> = 11.68	<i>M</i> = 12.64	<i>M</i> = 13.10
	<i>SD</i> = 1.8	<i>SD</i> = 2.11	<i>SD</i> = 1.60	<i>SD</i> = 1.50	<i>SD</i> = 1.60
Control	<i>M</i> = 8.83	<i>M</i> = 10.63	<i>M</i> = 11.67	<i>M</i> = 12.60	<i>M</i> = 13.20
	<i>SD</i> = 1.74	<i>SD</i> = 1.83	<i>SD</i> = 1.67	<i>SD</i> = 1.50	<i>SD</i> = 1.30

Note. *M* = mean; R = Recall; *SD* = standard deviation.

Learning curve. The means and standard deviations are shown in Table 3. The results of these analyses showed a main effect of group for the first recall (i.e., R1), $F(1, 55) = 17.36, p < .001$. As shown in Table 2, the mTBI group had on average a lower scores, $M = 6.8, SD = 1.87$, than the control group, $M = 8.83, SD = 1.74$. On the other hand, no significant difference was found between the two groups for R2, $U = 661.5, p = .51$, R3, $U = 698, p = .97$, R4, $U = 838.5, p = .98$, or R5, $U = 687.5, p = .83$.

Visual memory using ROCF. The means and standard deviations are shown in Table 4. As shown in Table 3, no significant difference was found between the two groups for immediate recall, $U = 634, p = .26$, delayed recall, $U = 663.5, p = .54$, or recognition, $U = 628.5, p = .58$.

Table 4

Means and standard deviation of ROCF scores in the learning phase of the mTBI group and control group

	ROCF.IR	ROCF.DR	ROCF.Rec
mTBI	<i>M</i> = 19.64	<i>M</i> = 19.82	<i>M</i> = 20.58
	<i>SD</i> = 6.49	<i>SD</i> = 6.35	<i>SD</i> = 2.43
Controls	<i>M</i> = 21.45	<i>M</i> = 20.77	<i>M</i> = 21.03
	<i>SD</i> = 4.37	<i>SD</i> = 4.70	<i>SD</i> = 1.88

Note. DR = delayed recall; IR = immediate recall; *M* = mean; Rec = Recognition; *SD* = standard deviation.

Despite the absence of a significant difference on average between the performance of the mTBI group and the control group, 20% of patients with mTBI demonstrated a deficit of two standard deviations or more in delayed recall (*z*-score of mTBI patients) in the visual modality, evaluated with the ROCF. In the verbal modality, evaluated with the RAVLT, all patients with mTBI performed within the norm on delayed recall. The *z*-score of observation is the number of standard deviations above or below the healthy population mean. A score above two standard deviations is considered deficient.

Post-concussive symptoms. To objectify the severity of the symptoms reported by mTBI patients. We compared the average of the symptoms (i.e., memory, fatigue, and sleep) reported with RPQ to zero (i.e., no symptoms), using one sample *t*-test. The one-sample *t*-test, also known as the one-means *t*-test, is used to compare the mean of a sample to a known (or theoretical/hypothetical) standard mean. In this case, the healthy population is theoretically

Table 5
Means and standard deviation on the MFI, PSQI, and PQP questionnaires

Variable	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
MFI general fatigue	24	15.46	3.20
MFI physical fatigue	24	13.96	3.86
MFI mental fatigue	24	15.46	2.69
MFI activation	24	13.83	3.33
MFI motivation	24	10.21	2.55
PSQI	24	8.08	3.53
RPQ sleep	24	2.08	0.26
RPQ fatigue	24	3.00	0.19
RPQ memory	24	2.50	0.16

Note. *M* = mean; *SD* = standard deviation.

expected to have a score of zero, and therefore no PCS.

A significant number of mTBI patients reported PCS. The means and standard deviations are shown in Table 5. We looked at the RPQ questionnaire. In terms of memory difficulties caused by mTBI, 54% of patients reported moderate to severe symptoms. Moderate to severe fatigue was reported by 79% of patients, and 38% reported moderate to severe sleep problems. Results show that complaints of memory difficulties, $M = 2.50$, $SD = 0.16$, for patients with mTBI were significant, $t(24) = 7.96$, $p < .001$. This means that despite the absence of a significant group difference in memory performance between the mTBI group and the control group, mTBI patients still demonstrated significant memory complaints. Similarly, feelings of fatigue were significant, $t(24) = 15.76$, $p < .001$, as were sleep disturbances complaints, $t(24) = 15.70$, $p < .001$.

MFI general fatigue was also analyzed and means are shown in Table 7. Results show that mTBI patients have a significantly higher level of general fatigue than people of their age and gender.

Table 7
Averages of general fatigue, by age and gender

Gender	Age		
	≤ 39 ans	40- 59 ans	≥ 60 ans
Male	13,6 (≥ 9)	16,2 (≥ 11)	-
Female	15,57 (≥ 11)	15,83 (≥ 12)	18 (≥ 14)

Note. Cut-off scores score suggesting the presence of significant general fatigue is shown in parentheses.

For the PSQI questionnaire, a total of 68% of patients showed sleep disturbances relative to the threshold. Results show that mTBI patients, $M = 8.08$, $SD = 3.53$, had significant sleep difficulties, $t(24) = 4.29$, $p < .001$.

Table 6
Results of the simple regression model predicting the delayed recall score of the ROCF test

	<i>B</i>	<i>SE</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>R</i>	<i>R</i> ²
MFI general Fatigue	0.75	0.88	0.18	0.86	.40	0.74	.18	.03
MFI physical fatigue	-0.56	0.73	-0.16	-0.76	.50	0.57	.16	.03
MFI mental fatigue	0.52	1.06	0.10	0.49	.63	0.24	.10	.01
MFI activation	0.42	0.86	0.10	0.49	.63	0.24	.10	.01
MFI motivation	-0.64	1.12	-0.12	-0.57	.57	0.33	.12	.02
PSQI	0.44	0.81	0.12	0.54	.60	0.30	.12	.01
RPQ sleep	3.21	2.13	0.31	1.51	.15	2.28	.31	.09
RPQ fatigue	0.35	3.07	0.02	0.11	.91	0.01	.02	.001
RPQ memory	4.32	3.56	0.25	1.12	.24	1.48	.25	.06

Note. *B* = the intercept; *SE* = Standard Error; β = slope; *t* = *t*-test statistic; *p* = probability value; *F* = *F* statistics; *R* = correlation coefficient; *R*² = coefficient of determination.

Table 7

Results of the simple regression model predicting the delayed recall score of the RAVLT

	<i>B</i>	<i>SE</i>	β	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>R</i>	<i>R</i> ²
MFI								
general Fatigue	0.06	0.06	0.22	0.97	.34	0.94	.22	.05
MFI								
physical fatigue	0.03	0.05	0.12	0.52	.61	0.27	.12	.01
MFI								
mental fatigue	-0.05	0.07	-0.14	-0.62	.54	0.39	.14	.02
MFI activation	0.10	0.06	0.37	1.72	.10	2.96	.37	.14
MFI motivation	0.01	0.07	0.04	0.19	.85	0.04	.04	.002
PSQI	-0.01	0.05	-0.05	-0.20	.84	0.04	.05	.002
RPQ sleep	0.03	0.14	0.05	0.21	.83	0.05	.05	.002
RPQ fatigue	0.06	0.19	0.07	0.32	.75	1.15	.07	.01
RPQ memory	0.26	0.21	0.27	1.23	.23	1.52	.27	.07

Note. Note. *B* = the intercept; *SE* = Standard Error; β = slope; *t* = *t*-test statistic; *p* = probability value; *F* = *F* statistics; *R* = correlation coefficient; *R*² = coefficient of determination.

Predictive analyses of memory performance.

The results are presented in Tables 6 and Table 7. Analysis of these results shows that the relationship between the complaint of memory difficulties reported by the RPQ and the EM performance assessed by the delayed recalls of the RAVLT and ROCF tests is not significant. Similarly, the intensity of symptoms of fatigue and sleep disorders reported by the RPQ questionnaire, the level and type of fatigue according to the MFI questionnaire, and the quality of sleep measured by the PSQI score do not predict the variables of interest.

Discussion

This study aimed to determine the impact of mTBI on EM in the first few months following the accident and its relationship with PCS. The first objective was to compare the EM performance in the visual and verbal modalities between a mTBI group and a healthy control group. Our findings showed no difference between groups, both in verbal and visual EM. The second objective was to assess memory, fatigue, and sleep complaints of patients who have undergone mTBI. The results have shown that mTBI patients report significantly more memory, fatigue, and sleep complaints in their everyday functioning than a theoretically mean of no PCS complaints in a healthy population. Finally, the third objective of the study was to explore the relationship between memory performances and PCS complaints. In the present study, despite memory complaints, fatigue, and sleep disturbance due to the mTBI, no associations were found between PCS and memory performances formally assessed with objective neuropsychological tests.

Memory profile of patients with acute mTBI

Verbal memory. In the learning phase, no significant differences were found between the two groups, except in the first recall trial. This group effect, found only in the first recall trial, could be explained by the attentional difficulties in the mTBI group. Several studies have shown a decrease in attentional abilities and impaired executive function following TBI at all levels of severity (Dikmen et al., 2009; Kathryn et al., 2011; Truchon et al., 2018). More specifically, relationships have also been observed between executive functions and EM, a study done by Diesfeldt (2006) has shown a strong association between performance on an executive functioning task and the one obtained in an EM task.

In the recall phase, no significant differences were found between the control and mTBI groups in either immediate recall, delayed recall, or recognition. That contrasts with the study by Taiym and colleagues (2016), where mTBI patients showed lower performance in verbal memory than the control group. However, in their study, they used the second version of the *California Verbal Learning Test* which places greater demands on executive functions (categories organization) and is, therefore, more sensitive to assessing the impact of mTBI on memory performance. In addition, their mTBI patients were older than the control group and reported symptoms of depression, and the control group had a higher level of intellectual functioning. In sum, their two groups were not comparables in terms of demographic and individual characteristics.

Visual memory. In the visual modality, results do not show a significant difference between the two in

immediate recall, delayed recall, or recognition. These results contrast with those of the study by L'Écuyer-Giguère et al. (2019) who showed a group difference in both recall conditions. Several hypotheses can be made regarding this discrepancy in results. In their study, both groups were not matched on age, and patients who underwent mTBI were significantly older than the control group (L'Écuyer-Giguère et al., 2019). However, memory is one of the skills most affected by age (Ballesteros et al., 2009; Wammes et al., 2017). In addition, the sample included a higher percentage of complicated mTBI patients (i.e., positive CT-Scan). The present study sample is composed of 96% uncomplicated mTBI and only 4% complicated mTBI. These factors may impact visual memory abilities. Indeed, a complicated mTBI may result in greater cognitive impairment (Dikmen et al., 2017; Borgaro et al., 2003).

Nevertheless, despite the absence of difference in means between the two groups, it is important to mention that a total of 20% of mTBI patients showed clinical impairment in the visual memory test, who was therefore performing beyond two standard deviations from the healthy population mean. In that sense, the absence of a significant difference between the means of the two groups does not necessarily reflect an absence of impairment in the experimental group because the averages do not consider individual differences (Levine, 2002; Kathryn et al., 2011; Wammes et al., 2017; Wilde et al., 2008). In our study, this impaired group is the one at risk of developing long-term sequelae if not managed in the acute phase (Dikmen et al., 2010; Frenchman et al., 2005; Perlstein et al., 2004). From a clinical point of view, it is important to detect patients with cognitive deficits as early as possible to intervene quickly and provide the required cognitive rehabilitation services. Early appropriate interventions may prevent chronic impairment in everyday activities (Dikmen et al., 2017).

Interestingly, in the verbal modality, all mTBI patients performed within the norm. It leads us to ask if TBI has a greater impact on incidental memory, which is more reflective of everyday memory. Indeed, the learning paradigm of the RAVLT is intentional and the subject is involved in the task while it is not the case in the ROCF. There is an interaction between the participant and the experimenter that could potentially increase attentional and concentration abilities, and thus improve memory performance. It is also possible to hypothesize that the visual memory task involves a higher level of executive functions, especially in the organization, planning, and incidental processes of the reproduction of the figure. As noted above, executive functions are frequently affected following mTBI. The word list learning task may be

less affected since it requires less involvement of higher executive functions. It could explain why their scores are within the norm, but they still complain of memory problems. An interesting avenue for research would be to assess whether this form of brain trauma would have a greater impact on visual memory than verbal memory or whether it is incidental memory that is impaired.

Overall, the absence of a difference in memory performance, in the verbal, and visual modalities, between the two groups does not validate our first experimental hypothesis. Given that memory complaints are often reported by patients following mTBI, we expected to find weaker performance than in the control group (Dikmen et al., 2017; Gaines et al., 2015; l'Écuyer-Giguère et al., 2019; Tayim et al., 2016). On the other hand, the results of this study are consistent with neuroimaging studies, which have concluded that no significant difference was found between TBI patients and the control group, at the behavioral level, and showed a significant difference between the two groups in terms of brain activation (Kathryn et al., 2011; Levine, 2002). It is important to note that these different studies (Kathryn et al., 2011; Levine, 2002) were conducted on patients with any severity of TBI. It is possible that at a cerebral level there is an impairment, not detectable with neuropsychological tests and basic imaging techniques, which could explain the memory complaints evoked by patients. Thus, it would be interesting in future studies to further investigate and characterize the neural substrates of EM following mTBI to better understand the impact of this type of injury on memory capacity.

Post-concussive symptoms following mTBI

When the neuropsychological assessment of a patient who has undergone mTBI is within the norm, self-reported complaints may be central to differentiating PCS from psychiatric problems (Sigurdardottir et al., 2009; Wayne et al., 2000). Therefore, the second objective was to objectify the subjective complaint by comparing it to the threshold score.

Memory. Neuropsychological tests assess memory difficulties. However, it is important to note that learning and recalling a complex word list or figure in an evaluative context may not reflect the memory difficulties that the individual faces in everyday functioning. Hence the need to consider the intensity of self-reported complaints even if the self-assessment of impairments may have some limits. For example, patients may have tendencies to exaggerate or minimize their problems. In this study, memory difficulties generated by mTBI, as assessed by the RPQ, were significant. More than half of the

participants reported moderate to significant memory difficulties when comparing their current state to their pre-accident state. Because of the limitations of self-report, it is important to note that our patient cohort was not in a litigation setting, so it is possible to assume that these patients did not exaggerate their memory complaints to obtain a secondary gain. Memory difficulties could manifest themselves as difficulties in learning new information or remembering a personally experienced event. This decrease in efficiency disrupts the return to work or school and disrupts an individual's daily functioning in managing simple to complex tasks (Dikmen et al., 2010; Carroll et al., 2004; Carroll et al., 2014).

Fatigue. Post-mTBI fatigue is often reported by patients (Johansson & Rönnbäck, 2017; Ponsford et al., 2019; Schiehser et al., 2016; Stullemeijer et al., 2006; Wylie & Flashman, 2017). Fatigue was also reported and objectified with the RPQ and MFI questionnaires by participants in our study. According to the RPQ, 79% of the participants suffer from moderate to severe fatigue following mTBI. Similarly, according to the results from the MFI questionnaire, mTBI patients have a higher level of general fatigue than people of their age and sex. Indeed, following mTBI, subjects are required to use additional cognitive resources. This increased mental effort leads to cognitive fatigue. On the other hand, fatigue may result from other factors, such as the quality of sleep (Wylie & Flashman, 2017), which would accentuate memory difficulties. It would be interesting to determine whether fatigue is a cause or a consequence of memory difficulties and work on this link to improve memory performance and, thus, the patients' quality of life.

Sleep. According to the PSQI score, 68% of mTBI patients have poor sleep quality. Also, as revealed by the RPQ, 38% reported moderate to severe sleep disturbance following injury. Several studies support those results because they have demonstrated altered sleep quality following mTBI (Cassidy et al., 2014; Ponsford & Sinclair, 2014; Viola-Saltzman & Musleh, 2016; Wylie & Flashman, 2017). Sleep plays a crucial role in consolidating information learned during the day (Gais, 2006), which may explain the memory difficulties faced by people with mTBI. It is therefore pertinent to take sleep quality into account when interpreting memory performance. Similarly, it could be beneficial to address alterations in the sleep-wake cycle, which may interfere with recovery and resumption of daily activities (Wylie & Flashman, 2017). Various studies have highlighted the importance of pharmacological and non-pharmacological interventions and their positive impacts on sleep quality and fatigue (Ponsford et al., 2012; Ponsford & Sinclair, 2014; Wylie & Flashman, 2017).

Influence of PCS on memory performance. The third objective of the study was to explore the relationship between a subjective complaint and memory performance and to study the influence of fatigue and sleep on the variables of interest. Results reveal that the relationship between self-reported memory difficulties and memory performance, as assessed by neuropsychological tests, is non-significant. It means that the RAVLT and FCR tests do not make it possible to objectify the difficulties generated by an mTBI that patients must face in their everyday life. An example could be encoding new information into EM, especially when the attention of dual-task is demanding (Mangels, 2002). Similarly, the level of fatigue and sleep quality does not predict memory performance.

In many studies, the impact of mTBI on memory is concluded without considering the intensity of PCS. Yet, the presence of a complaint of memory abilities, a significant level of fatigue, and poor sleep quality, is often reported by patients who have undergone a TBI (Cassidy et al., 2014; Dikmen and 2010). These PCSs impact patients' daily functioning on various levels (e.g., return to work, return to school, social reintegration) (Bier et al., 2009; Cassidy et al., 2004; Johansson et al., 2016; Wylie & Flashman, 2017). Our study provides a novel and critical element in a clinical assessment, namely, to see the relationship between patient-reported PCS and the neuropsychological tests most used in the clinic to assess memory abilities.

In our study, we couldn't establish a link between post-concussive symptoms and memory performance in visual or verbal modalities. None of the PCSs, assessed by RPQ, MFI, and PSQI, predicted the verbal memory score, assessed by the RAVLT, or the visual memory score, assessed by the ROCF test. Bearing in mind that the assessment was performed in the first weeks after the accident, in the acute phase, when PCS is still important. To conclude, the complaints reported by the patients having undergone a mTBI are indeed present and significant, and yet we do not find an association between memory performance and the intensity of these PCS. Thus, it is crucial to consider the patient when choosing tests. These findings call into question the sensitivity of neuropsychological tests to measure the subtleties of memory impairment following mTBI and perhaps also the lack of ecological validity of these measures for most patients. Researchers are therefore encouraged to develop more sensitive memory tests for this clinical population. However, one of the issues that emerge is the need for a formal assessment for all patients. Thus, instead of systematically assessing all patients with mTBI, conduct more targeted assessments but initiate management based on patient complaints and not only on objective test difficulties.

Limitations of the study

Notwithstanding the relevant findings revealed in this study, several limitations have already been mentioned. Firstly, the number of participants is small, and we use non-parametric tests to compare the memory performance of mTBI patients and the control group. It is important to note that the statistical power of non-parametric tests is low. Although both groups were matched in age and education, the participant's age varies between 20 and 64. Since we compared the raw score to compare the two groups, the age variable could explain the heterogeneity of the data. Similarly, it is essential to control for the intelligence quotient, as the latter could play a role in memory performance (Ashton et al., 2005; L'Écuyer-Giguère et al., 2019) and could thus explain the good performance of the experimental group despite their mTBI.

As for the evaluation of PCS, measures used came from self-reported questionnaires and it may not be sensitive enough to measure complex and subtleties symptoms. Complaints are considered subjective. Thus, the psychological aspect must be considered, in the sense that experiencing a negative event, which could be traumatic for some people, may lead to an underestimation of current abilities and an impression that the pre-accident status was better than it was (Iverson et al., 2010). Iverson and colleagues (2010) have shown that patients with mTBI have a "good old days" bias, impacting their perception of their difficulty, recovery, return to work, and resumption of daily activities. In this sense, the present study did not explore the impact of anxiety or depression, which may influence fatigue levels. People in an anxious state also feel much more fatigued, presumably because they are expending so much mental effort on their anxious state that they become fatigued.

Clinical perspectives

This study's results underscore the importance of developing new, more ecologically valid tests that allow for the objectification of complaints reported by patients. Rabin et al. (2016) conducted a longitudinal study to examine the use of neuropsychological tests used in Canada and the United States, which included RAVLT and ROCF. Their results revealed a high degree of stability in the tests used over the past ten years. Most clinical neuropsychologists continue to use the same tests as they become more comfortable scoring and interpreting the data, although they are aware that in some cases the tests do not assess the difficulties reported by patients. The use of new instruments is a real challenge in clinical practice. Nevertheless, it is crucial to develop new, more ecologically valid tests that consider the different influencing variables (e.g., PCS). Objectifying difficulties in the acute phase with a more sensitive

examination makes it possible to guide management and reduce the risk of developing chronic sequelae. In this context, it is therefore essential to interpret the results obtained with great caution.

Conclusion

The literature review led us to hypothesize that memory difficulties in patients who have undergone mTBI and the presence of PCS may play a role in predicting memory performance. However, the results of the present study evaluated with the ROCF test between patients with mTBI and the control group are not significant. Despite the presence of a significant memory complaint, the latter is not revealed with the neuropsychological tests most used in the clinic. As for PCS, fatigue, and sleep are significant. However, it appears that they do not predict memory performance. This underscores the importance of paying attention to self-reported subjective information in the interpretation of the data, to address the difficulties that patients face in their daily lives. Finally, further research with larger groups is essential to better understand the impacts of mTBI on EM and the influence of PCS on this cognitive process.

References

- Anderson, J. W., & Schmitter-Edgecombe, M. (2009). Predictions of episodic memory following moderate to severe traumatic brain injury during inpatient rehabilitation. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *31*, 425-438. <https://doi.org/10.1080/13803390802232667>
- Audrit, H., Beauchamp, M. H., Tinawi, S., Laguë-Beauvais, M., Saluja, R., & de Guise, E. (2021). Multidimensional psychoeducative and counseling intervention (SAAM) for symptomatic patients with mild traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation, Publish Ahead of Print*. <https://doi.org/10.1097/htr.0000000000000653>
- Ashton, L. V., Donders, J., & Hoffman, N. M. (2005). Rey complex figure test performance after traumatic brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *27*, 55-64. <https://doi.org/10.1080/138033990513636>
- Ballesteros, S., Nilsson, L.-G., & Lemaire, P. (2009). Ageing, cognition, and neuroscience: An introduction. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 161-175. <https://doi.org/10.1080/09541440802598339>
- Bier, N., Dutil, E., & Couture, M. (2009). Factors affecting leisure participation after a traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *24*, 187-194. <https://doi.org/10.1097/HTR.0b013e3181a0b15a>
- Borgaro, S. R., Prigatano, G. P., Kwasnica, C., & Rexer, J. L. (2003). Cognitive and affective sequelae in complicated and

- uncomplicated mild traumatic brain injury. *Brain Injury*, 17, 189-198. <https://doi.org/10.1080/0269905021000013183>
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28, 193-213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Carroll, L., Cassidy, J. D., Peloso, P., Borg, J., von Holst, H., Holm, L., Paniak, C., & Pépin, M. (2004). Prognosis for mild traumatic brain injury: Results of the who collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 36, 84-105. <https://doi.org/10.1080/16501960410023859>
- Carroll, L. J., Cassidy, J. D., Cancelliere, C., Côté, P., Hincapié, C. A., Kristman, V. L., Holm, L. W., Borg, J., Nygren-de Boussard, C., & Hartvigsen, J. (2014). Systematic review of the prognosis after mild traumatic brain injury in adults: Cognitive, psychiatric, and mortality outcomes: Results of the international collaboration on mild traumatic brain injury prognosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95, 152-173. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.08.300>
- Cassidy, J. D., Cancelliere, C., Carroll, L. J., Côté, P., Hincapié, C. A., Holm, L. W., Hartvigsen, J., Donovan, J., Nygren-de Boussard, C., Kristman, V. L., & Borg, J. (2014). Systematic review of self-reported prognosis in adults after mild traumatic brain injury: Results of the international collaboration on mild traumatic brain injury prognosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95, S132-S151. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.08.299>
- Cassidy, J. D., Carroll, L., Peloso, P., Borg, J., von Holst, H., Holm, L., Kraus, J., & Coronado, V. (2004). Incidence, risk factors and prevention of mild traumatic brain injury: Results of the who collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 36, 28-60. <https://doi.org/10.1080/16501960410023732>
- Corwin, J. & Bylsma, F. W. (1993). Psychological examination of traumatic encephalopathy. *Clinical Neuropsychologist*, 7, 3-21. <https://doi.org/10.1080/13854049308401883>
- Diesfeldt, H. F. A. (2006). Construct validity of some episodic memory tests for psychogeriatric patients. *Tijdschrift voor Geriatrie en Geriatrie*, 37, 59-66.
- Dikmen, S., Machamer, J., & Temkin, N. (2017). Mild traumatic brain injury: Longitudinal study of cognition, functional status, and post-traumatic symptoms. *Journal of Neurotrauma*, 34, 1524-1530. <https://doi.org/10.1089/neu.2016.4618>
- Dikmen, S. S., Corrigan, J. D., Levin, H. S., Machamer, J., Stiers, W., & Weisskopf, M. G. (2009). Cognitive outcome following traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 24, 430-438. <https://doi.org/10.1097/htr.0b013e3181c133e9>
- Dikmen, S., Machamer, J., Fann, J. R., & Temkin, N. R. (2010). Rates of symptom reporting following traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 401-411. <https://doi.org/10.1017/s1355617710000196>
- Ellenbogen, J. M., Hulbert, J. C., Jiang, Y., & Stickgold, R. (2009). The sleeping brain's influence on verbal memory: Boosting resistance to interference. *PLoS ONE*, 4, e4117. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004117>
- Fichtenberg, N. L., Putnam, S. H., Mann, N. R., Zafonte, R. D., & Millard, A. E. (2001). Insomnia screening in postacute traumatic brain injury. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 80, 339-345. <https://doi.org/10.1097/00002060-200105000-00003>
- Frankland, P. W., & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 119-130. <https://doi.org/10.1038/nrn1607>
- Frencham, K. A. R., Fox, A. M., & Maybery, M. T. (2005). Neuropsychological studies of mild traumatic brain injury: A meta-analytic review of research since 1995. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 27, 334-351. <https://doi.org/10.1080/13803390490520328>
- Gaines, K. D., Soper, H. V., & Berenji, G. R. (2015). Executive functioning of combat mild traumatic brain injury. *Applied Neuropsychology: Adult*, 23, 115-124. <https://doi.org/10.1080/23279095.2015.1012762>
- Gais, S. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning & Memory*, 13, 259-262. <https://doi.org/10.1101/lm.132106>
- Gardner, R. C., & Yaffe, K. (2015). Epidemiology of mild traumatic brain injury and neurodegenerative disease. *Molecular and Cellular Neuroscience*, 66, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.mcn.2015.03.001>
- Iverson, G. L., Lange, R. T., Brooks, B. L., & Lynn Ashton Rennison, V. (2010). "Good old days" bias following mild traumatic brain injury. *The Clinical Neuropsychologist*, 24, 17-37. <https://doi.org/10.1080/13854040903190797>
- Johansson, B., & Rönnbäck, L. (2017). Assessment and treatment of mental fatigue after a traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 27, 1047-1055. <https://doi.org/10.1080/096020112.017.1292921>
- Jonasson, A., Levin, C., Renfors, M., Strandberg, S., & Johansson, B. (2018). Mental fatigue and impaired cognitive function after an acquired brain injury. *Brain and Behavior*, 8, e01056. <https://doi.org/10.1002/brb3.1056>

- Russell, K. C., Arenth, P. M., Scanlon, J. M., Kessler, L. J., & Ricker, J. H. (2011). A functional magnetic resonance imaging investigation of episodic memory after traumatic brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *33*, 538-547. <https://doi.org/10.1080/13803395.2010.537253>
- King, N. S., Crawford, S., Wenden, F. J., Moss, N. E. G., & Wade, D. T. (1995). The Rivermead Post Concussion Symptoms Questionnaire: A measure of symptoms commonly experienced after head injury and its reliability. *Journal of Neurology*, *242*, 587-592. <https://doi.org/10.1007/bf00868811>
- Kumar, R. G., Bracken, M. B., Clark, A. N., Nick, T. G., Melguizo, M. S., & Sander, A. M. (2014). Relationship of preinjury depressive symptoms to outcomes 3 mos after complicated and uncomplicated mild traumatic brain injury. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *93*, 687-702. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000000077>
- L'Écuyer-Giguère, F., Greffou, S., Tabet, S., Frenette, L. C., Tinawi, S., Feyz, M., & de Guise, E. (2019). Visual memory performance following mild traumatic brain injury and its relationship with intellectual functioning. *Applied Neuropsychology: Adult*, *27*, 219-231. <https://doi.org/10.1080/23279095.2018.1528263>
- Leh, S. E., Schroeder, C., Chen, J.-K., Mallar Chakravarty, M., Park, M. T. M., Cheung, B., Huntgeburth, S. C., Gosselin, N., Hock, C., Pfito, A., & Petrides, M. (2017). Microstructural integrity of hippocampal subregions is impaired after mild traumatic brain injury. *Journal of Neurotrauma*, *34*, 1402-1411. <https://doi.org/10.1089/neu.2016.4591>
- Levine, B. (2002). Functional reorganisation of memory after traumatic brain injury: A study with H₂¹⁵O positron emission tomography. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *73*, 173-181. <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.2.173>
- Losoi, H., Silverberg, N. D., Wäljas, M., Turunen, S., Rosti-Otajärvi, E., Helminen, M., Luoto, T. M., Julkunen, J., Öhman, J., & Iverson, G. L. (2016). Recovery from mild traumatic brain injury in previously healthy adults. *Journal of Neurotrauma*, *33*, 766-776. <https://doi.org/10.1089/neu.2015.4070>
- Mangels, J. (2002). Effects of divided attention on episodic memory in chronic traumatic brain injury: A function of severity and strategy. *Neuropsychologia*, *40*, 2369-2385. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00084-2](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00084-2)
- Mazza, S., Gerbier, E., Gustin, M.-P., Kasikci, Z., Koenig, O., Toppino, T. C., & Magnin, M. (2016). Relearn faster and retain longer. *Psychological Science*, *27*, 1321-1330. <https://doi.org/10.1177/0956797616659930>
- Menon, D. K., Schwab, K., Wright, D. W., & Maas, A. I. (2010). Position statement: Definition of traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *91*, 1637-1640. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.05.017>
- McAllister, T. W., Saykin, A. J., Flashman, L. A., Sparling, M. B., Johnson, S. C., Guerin, S. J., Mamourian, A. C., Weaver, J. B., & Yanofsky, N. (1999). Brain activation during working memory 1 month after mild traumatic brain injury: A functional MRI study. *Neurology*, *53*, 1300. <https://doi.org/10.1212/wnl.53.6.1300>
- Medvedev, O. N., Theadom, A., Barker-Collo, S., & Feigin, V. (2018). Distinguishing between enduring and dynamic concussion symptoms: Applying generalisability theory to the Rivermead Post Concussion Symptoms Questionnaire (RPQ). *PeerJ*, *6*, e5676. <https://doi.org/10.7717/peerj.5676>
- Meyers, J. E., & Meyers, K. R. (1995). Rey complex figure test under four different administration procedures. *The Clinical Neuropsychologist*, *9*, 63-67. <https://doi.org/10.1080/13854049508402059>
- Ozen, L. J., Itier, R. J., Preston, F. F., & Fernandes, M. A. (2013). Long-term working memory deficits after concussion: Electrophysiological evidence. *Brain Injury*, *27*, 1244-1255. <https://doi.org/10.3109/02699052.2013.804207>
- Perlstein, W. M., Cole, M. A., Demery, J. A., Seignourel, P. J., Diwit, N. K., Larson, M. J., & Briggs, R. W. (2004). Parametric manipulation of working memory load in traumatic brain injury: Behavioral and neural correlates. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *10*, 724-741. <https://doi.org/10.1017/s1355617704105110>
- Phillips, N. L., Parry, L., Mandalis, A., & Lah, S. (2017). Working memory outcomes following traumatic brain injury in children: A systematic review with meta-analysis. *Child Neuropsychology*, *23*, 26-66. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1085500>
- Ponsford, J. L., & Sinclair, K. L. (2014). Sleep and fatigue following traumatic brain injury. *Psychiatric Clinics of North America*, *37*, 77-89. <https://doi.org/10.1016/j.psc.2013.10.001>
- Ponsford, J. L., Ziino, C., Parcell, D. L., Shekleton, J. A., Roper, M., Redman, J. R., Phipps-Nelson, J., & Rajaratnam, S. M. W. (2012). Fatigue and sleep disturbance following traumatic brain injury—their nature, causes, and potential treatments. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *27*, 224-233. <https://doi.org/10.1097/htr.0b013e31824ee1a8>
- Ponsford, J., Nguyen, S., Downing, M., Bosch, M., McKenzie, J., Turner, S., Chau, M., Mortimer, D., Gruen, R., Knott, J., & Green, S. (2019). Factors associated with persistent post-concussion symptoms following mild traumatic brain injury in adults. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *51*, 32-39. <https://doi.org/10.2340/16501977-2492>

- Rabin, L. A., Paolillo, E., & Barr, W. B. (2016). Stability in test-usage practices of clinical neuropsychologists in the United States and Canada over a 10-year period: A follow-up survey of INS and NAN members. *Archives of Clinical Neuropsychology, 31*, 206-230. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw007>
- Rey, A. (1941). L'examen psychologique dans le cas d'encéphalopathie traumatique. *Archives de Psychologie, 28*, 286-340.
- Schiehser, D. M., Delano-Wood, L., Jak, A. J., Hanson, K. L., Sorg, S. F., Orff, H., & Clark, A. L. (2016). Predictors of cognitive and physical fatigue in post-acute mild-moderate traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation, 27*, 1031-1046. <https://doi.org/10.1080/09602011.2016.1215999>
- Schwarz, R., Krauss, O., & Hinz, A. (2003). Fatigue in the general population. *Oncology Research and Treatment, 26*, 140-144. <https://doi.org/10.1159/000069834>
- Skandsen, T., Nilsen, T. L., Einarsen, C., Normann, I., McDonagh, D., Haberg, A. K., & Vik, A. (2019). Incidence of mild traumatic brain injury: A prospective hospital, emergency room and general practitioner-based study. *Frontiers in Neurology, 10*, 1. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00638>
- Shin, M.-S., Park, S.-Y., Park, S.-R., Seol, S.-H., & Kwon, J. S. (2006). Clinical and empirical applications of the Rey-Osterrieth Complex Figure Test. *Nature Protocols, 1*, 892-899. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.115>
- Sigurdardottir, S., Anđelic, N., Roe, C., Jerstad, T., & Schanke, A.-K. (2009). Post-concussion symptoms after traumatic brain injury at 3 and 12 months post-injury: A prospective study. *Brain Injury, 23*, 489-497. <https://doi.org/10.1080/02699050902926309>
- Singer, S., Kuhnt, S., Zwerenz, R., Eckert, K., Hofmeister, D., Dietz, A., Giesinger, J., Hauss, J., Papsdorf, K., Briest, S., & Brown, A. (2011). Age- and sex-standardised prevalence rates of fatigue in a large hospital-based sample of cancer patients. *British Journal of Cancer, 105*, 445-451. <https://doi.org/10.1038/bjc.2011.251>
- Smets, E. M. A., Garssen, B., Bonke, B., & De Haes, J. C. J. M. (1995). The Multidimensional Fatigue Inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *Journal of Psychosomatic Research, 39*, 315-325. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)00125-o](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)00125-o)
- Smith-Seemiller, L., Fow, N. R., Kant, R., & Franzen, M. D. (2003). Presence of post-concussion syndrome symptoms in patients with chronic pain vs mild traumatic brain injury. *Brain Injury, 17*, 199-206. <https://doi.org/10.1080/0269905021000030823>
- Spren, O., & Strauss, E. (1998). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Stulemeijer, M., van der Werf, S., Bleijenberg, G., Biert, J., Brauer, J., & Vos, P. E. (2006). Recovery from mild traumatic brain injury. *Journal of Neurology, 253*, 1041-1047. <https://doi.org/10.1007/s00415-006-0156-5>
- Tayim, F. M., Flashman, L. A., Wright, M. J., Roth, R. M., & McAllister, T. W. (2016). Recovery of episodic memory subprocesses in mild and complicated mild traumatic brain injury at 1 and 12 months post injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 38*, 1005-1014. <https://doi.org/10.1080/13803395.2016.1182968>
- Truchon, C., Guérin, F., & Ulysse, M. A., Martin, G. (2018). *Traumatisme craniocérébral léger – Mise à jour des connaissances en préparation de la révision des orientations ministérielles pour le traumatisme craniocérébral léger (2005-2010)*. Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS). <https://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/3427233>
- Viola-Saltzman, M., & Musleh, C. (2016). Traumatic brain injury-induced sleep disorders. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 12*, 339-348. <https://doi.org/10.2147/ndt.s69105>
- Wammes, J. D., Good, T. J., & Fernandes, M. A. (2017). Autobiographical and episodic memory deficits in mild traumatic brain injury. *Brain and Cognition, 111*, 112-126. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.11.004>
- Gordon, W. A., & Marga, L. H. (2000). The sensitivity and specificity of self-reported symptoms in individuals with traumatic brain injury. *Brain Injury, 14*, 21-33. <https://doi.org/10.1080/026990500120907>
- Wheaton, A. G. (2011). Effect of short sleep duration on daily activities—United States, 2005-2008. *Morbidity and Mortality Weekly Report, 239*-242. <https://doi.org/10.1037/e595142011-003>
- Wilde, E. A., McCauley, S. R., Hunter, J. V., Bigler, E. D., Chu, Z., Wang, Z. J., Hanten, G. R., Troyanskaya, M., Yallampalli, R., Li, X., Chia, J., & Levin, H. S. (2008). Diffusion tensor imaging of acute mild traumatic brain injury in adolescents. *Neurology, 70*, 948-55. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000305961.68029.54>
- Wylie, G. R., & Flashman, L. A. (2017). Understanding the interplay between mild traumatic brain injury and cognitive fatigue: Models and treatments. *Concussion, 2*, CNC50. <https://doi.org/10.2217/cnc-2017-0003>

Pré-validation et normes préliminaires du Test de Hayling Junior pour évaluer l'inhibition verbale chez l'enfant francophone au Québec

Victoria Racicot¹, Julie Leclerc², Ph. D. et Bruno Gauthier¹, Ph. D.

¹Université de Montréal, Montréal, Canada

²Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada

Le *Test de Hayling* mesure l'inhibition verbale et est largement utilisé chez l'adulte. Les données psychométriques sont restreintes pour la version *Junior* et les normes pour les enfants québécois sont inexistantes. L'objectif de cette étude était de produire des normes préliminaires du *Test de Hayling Junior* pour les enfants québécois selon certaines variables sociodémographiques et de mesurer la fidélité et la validité de ce test. L'échantillon était composé de 32 participants (c.-à-d., 14 filles, 18 garçons) âgés de 8 à 12 ans ($M = 9.47$, $É.-T. = 1.32$). L'âge était corrélé aux scores de vitesse et les scores ne variaient pas selon le sexe ou le niveau d'éducation des parents. Les indices de fidélité étaient généralement adéquats. Les scores au *Hayling Junior* étaient corrélés à certaines mesures de l'inhibition, mais pas à la mémoire de travail ni à l'échelle *hyperactivité/impulsivité* d'un questionnaire pour parent. Ce test permettra aux cliniciens d'évaluer l'inhibition verbale et contribuera à l'étude de son développement chez l'enfant québécois.

Mots-clés : fonctions exécutives, inhibition, *Hayling Junior*, normalisation, validation

The *Hayling Test* measures verbal inhibition and is widely used with adults. Psychometric data is limited for the *Junior* version and norms for the Quebec pediatric population are non-existent. The aim of this study was to produce norms for the *Hayling Junior Test* for Quebec children according to certain socio-demographic variables and to measure the reliability and validity of this test. The sample consisted of 32 participants (i.e., 14 girls, 18 boys) aged 8 to 12 years ($M = 9.47$, $SD = 1.32$). Age was correlated with speed scores and scores did not vary according to sex or parental education level. The fidelity indices were generally adequate. *Hayling Junior's* scores correlated with some measures of inhibition, but not with working memory or the *hyperactivity/impulsivity scale* of a questionnaire for parent. This test will allow clinicians to assess verbal inhibition and will aid in the study of its development with Quebec children.

Keywords: executive functions, inhibition, *Hayling Junior*, normalization, validation

Introduction

Les fonctions exécutives (FE) sont généralement définies comme un ensemble de processus cognitifs qui permettent de contrôler et de réguler nos comportements et pensées, particulièrement lors de situations non familières ou lors de la réalisation de tâches non automatiques (Miyake & Friedman, 2012). Chez l'adulte, trois principales FE distinctes, mais interreliées, seraient présentes : l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive. L'inhibition, se définit comme un processus qui nécessite un contrôle conscient afin d'inhiber une réponse prédominante ou automatique (Miyake et al., 2000; Nigg, 2000). La mémoire de travail réfère généralement à la capacité à maintenir des informations en mémoire et à les manipuler (Baddeley, 2010). Enfin, la flexibilité cognitive se définit comme

étant la capacité à changer sa propre perspective d'une situation, à changer sa conception et sa compréhension d'une situation, ainsi qu'à s'adapter aux changements qui surviennent dans les demandes ou au sein d'un plan pré-établi (Diamond, 2013). Chez l'enfant d'âge préscolaire, ces fonctions seraient moins dissociées et se distribueraient en deux facteurs principaux, soit l'inhibition et la mémoire de travail (Miller et al., 2012; Monette et al., 2015). La différenciation des facteurs se ferait progressivement, pour atteindre une structure à trois facteurs à l'âge scolaire (Lambek & Shevlin, 2011; Lee et al., 2013; Lehto et al., 2003). L'inhibition serait l'une des premières FE à se développer et serait nécessaire au fonctionnement des autres FE (Anderson et al., 2002). L'inhibition serait étroitement liée à la mémoire de travail et ces deux fonctions seraient les précurseurs de la flexibilité, puis de la planification et de la résolution de problème, qui sont des FE de plus haut niveau (Diamond, 2013).

Les capacités d'inhibition seraient héréditaires (Friedman et al., 2008), mais certains facteurs environnementaux affecteraient leur développement (Farah et al., 2006; Noble et al., 2007; Sarsour et al.,

La correspondance de cet article doit être adressée à /
Correspondance concerning this article should be addressed to:

Victoria Racicot, Département de psychologie, Université de Montréal

Courriel/e-mail: victoria.racicot@umontreal.ca

2011), notamment le statut socio-économique (SSE) (Mezzacappa, 2004). Toutefois, certains facteurs auraient un effet modérateur sur l'association entre l'inhibition et le SSE, comme la qualité du lien parent-enfant (Bernier et al., 2010; Rhoades et al., 2011; Sarsour et al., 2011). De plus, le développement adéquat de l'inhibition durant la jeune enfance serait associé à une diminution des comportements internalisés et externalisés ainsi qu'à de meilleures habiletés sociales (Moffitt et al., 2011; Rhoades et al., 2009).

Les capacités d'inhibition se développent progressivement dès l'âge préscolaire, puis au cours de l'enfance et l'adolescence. Au même âge, certains enfants ont des capacités d'inhibition significativement moins efficaces que d'autres enfants. Ces capacités moins efficaces entraînent une fréquence plus élevée de comportements liés au déficit d'inhibition que ce qui est attendu à cet âge. Un déficit sur le plan de l'inhibition se traduit notamment par un manque d'autorégulation et la présence d'impulsivité. Les enfants qui présentent un déficit de l'inhibition peuvent avoir de la difficulté à demeurer assis à leur place, à attendre leur tour et peuvent avoir tendance à couper la parole (Bari et Robbins, 2013; Er-Rafiqi et al., 2017). Cette fonction se trouve déficiente dans plusieurs troubles pédiatriques (Diamond, 2013; Hosenbocus et Chahal, 2012), notamment le trouble du déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH), (Happé et al., 2006; Pievsky & McGrath, 2018; Rahmi & Wimbari, 2018), qui se caractérise fréquemment par un déficit de l'inhibition (Barkley, 1999).

L'inhibition s'évalue par des tests cognitifs, dans lesquels les mesures d'intérêt principales sont la vitesse (c.-à-d., temps de réponse) et la précision (c.-à-d., nombre d'erreurs). Les tests mesurent différentes composantes de l'inhibition qui sont étroitement liées; l'inhibition comportementale et le contrôle de l'interférence (Friedman & Miyake, 2004; Nigg, 2000). Les tests mesurant l'inhibition comportementale impliquent uniquement l'inhibition d'une réponse automatique, alors que les tests mesurant le contrôle de l'interférence nécessitent l'inhibition d'une réponse automatique, pour produire une réponse alternative non prédominante, par exemple le test *Interférence couleur-mot* ou *Stroop* (Delis et al., 2001; Stroop, 1935)

Le *Test de Hayling* (Burgess & Shallice, 1997), initialement développé chez l'adulte, mesure également le contrôle de l'interférence et nécessite l'inhibition d'une réponse verbale prédominante. Ce test permet aussi d'évaluer l'initiation et l'utilisation de stratégies. Il comprend deux conditions, qui comportent des phrases dans lesquelles le dernier mot est manquant. Dans la première condition, les phrases

doivent être complétées par le mot qui a le plus de sens sémantiquement et syntaxiquement. Le délai avant de produire le mot est un indice des capacités d'initiation et plus le temps de réponse est court, meilleures sont ces capacités (Burgess & Shallice, 1996). Dans la deuxième condition, la réponse automatique doit être inhibée pour produire un mot incohérent avec la phrase. Dans cette condition, plus la réponse est sémantiquement liée à la phrase, moins les capacités d'inhibition sont adéquates. Le contraste entre le temps de réponse des deux conditions représente le coût cognitif associé à l'inhibition de la réponse prédominante. Un contraste de temps de réponse élevé suggère de faibles capacités d'inhibition (Burgess & Shallice, 1996). Ainsi, l'efficacité des processus d'inhibition est inférée à l'aide de la condition initiation, qui a une fonction de condition de base. Si seule la condition inhibition était administrée, il ne serait pas possible de déterminer si la faible performance est attribuable à un déficit d'inhibition ou d'initiation. Enfin, l'utilisation de stratégies est mesurée par un indice qualitatif, portant sur les stratégies employées pour produire un mot incohérent dans la condition 2. L'utilisation d'une stratégie, par exemple de nommer un objet dans la pièce, est associée à de meilleures capacités d'inhibition (Burgess & Shallice, 1996; Robinson et al., 2015).

La version pour adultes du *Test de Hayling* présente de bonnes qualités psychométriques. Plusieurs versions traduites et adaptées existent : en italien ($n = 301$, 16-94 ans; Spitoni et al., 2017), en français ($n = 426$, 20-87 ans; Bayard et al., 2017), en arabe ($n = 350$, $M = 45$ ans; Hallit et al., 2020), en espagnol ($n = 185$, 18-99 ans; Pérez-Pérez et al., 2016), ainsi qu'en suédois ($n = 76$, 40-95 ans; Vestberg et al., 2019). La fidélité test-retest, qui réfère à la constance des résultats à travers le temps, est adéquate pour le temps de réponse pour la condition 2 ($r = .78$), mais faible pour le temps de réponse de la condition 1 ($r = .62$) et le score d'erreur de la condition 2 ($r = .52$; Burgess et Shallice, 1997; Strauss et al., 2006). La consistance interne, c'est-à-dire dans quelle mesure les items du test pour chacune des conditions évaluent le même construit, varie selon les versions du test; elle est de faible à adéquate pour le temps de réponse de la condition 1 ($\alpha = .37$ à $.93$), de modérée à élevée pour le temps de réponse de la condition 2 ($\alpha = .80$ à $.94$) et d'acceptable à élevée pour le score d'erreur de la condition 2 ($\alpha = .72$ à $.94$; Burgess et Shallice, 1997; Hallit et al., 2020; Pérez-Pérez et al., 2016; Spitoni et al., 2017; Vestberg et al., 2019). Quant à la fidélité inter-juges, qui fait référence au degré de consensus entre plusieurs correcteurs, le kappa de Cohen est élevé pour l'ensemble des scores ($\kappa = .77$ à $.95$; Spitoni et al., 2017). L'accord est également élevé (Koo et Li, 2016) pour le score d'erreur de la condition 2 lorsque mesuré à l'aide du

coefficient intra classe (ICC = .82 à .97; Bayard et al., 2017; Pérez-Pérez et al., 2016; Vestberg et al., 2019).

Quant aux données sur la validité du test, le *Test de Hayling* a été développé afin d'être utilisé auprès de populations adultes avec lésions frontales et il s'est montré sensible et spécifique à cette population (Burgess & Shallice, 1996), un indice de sa validité critériée. Pour la validité de construit convergente, où des corrélations plus fortes sont attendues entre des variables qui sont supposées mesurer le même construit, la corrélation entre le score d'erreur de la condition 2 du *Test de Hayling* et le temps d'initiation à la *Tour de Londres* (Shallice, 1982), une mesure d'inhibition, est moyenne ($r = .40, p < .001; n = 47, 20-30$ ans; Andrés & Van der Linden, 2000).

Dans une étude au Brésil (de Sousa Siqueira et al., 2010), la version du *Test de Hayling* pour adulte a été administrée auprès d'enfants âgés de 6 à 12 ans. Contrairement à ce qui était attendu, l'effet d'âge était absent pour plusieurs scores. Les auteurs ont donc conclu que les énoncés se trouvant dans la version adulte du test étaient peu adaptés pour la population pédiatrique, sur le plan de la complexité syntaxique et du contexte sémantique. Ainsi, les énoncés originaux du *Test de Hayling* ont été modifiés afin d'être plus adaptés aux enfants et une version Junior a été produite, en italien ($n = 64, 7-12$ ans; Shallice et al., 2002), en brésilien ($n = 28, 6-12$ ans; Siqueira et al., 2016), en arabe ($n = 120, 7-12$ ans; Bellaj et al., 2016) et en français ($n = 165, 6-11$ ans; Monnier & Bayard, 2017). Afin de produire la version junior du *Test de Hayling* en France, chaque phrase du *Test de Hayling* pour adulte a été évaluée afin de déterminer celles qui étaient pertinentes chez les enfants et seules les phrases pertinentes ont été conservées dans la version junior. Les chercheurs ont ensuite créé de nouvelles phrases. Les nouvelles phrases et celles provenant de la version adulte ont été administrées à des enfants neurotypiques et les enfants devaient compléter les phrases par le mot attendu. Enfin, seules les phrases pour lesquelles le mot cible était produit dans 100 % des cas ont été conservées et employées dans le *Test de Hayling Junior*.

Pour la version italienne du test (Shallice et al., 2002), l'âge affectait le temps de réponse de la condition 1 et le score d'erreur de la condition 2. Les stratégies les plus fréquemment utilisées pour répondre dans la condition 2 étaient de nommer un objet qui se trouvait dans la pièce ou de nommer un mot relié aux phrases précédentes (Shallice et al., 2002). La version brésilienne a été employée dans une

étude ($n = 275, 6-12$ ans; Jacobsen et al., 2017) dont les résultats indiquent que l'âge, le niveau d'éducation des parents et le type d'école (publique ou privée) prédisent de 15 % à 30 % de la variance des scores au *Hayling Junior*. Quant à la version arabe (Bellaj et al., 2016), le score de contraste de temps de réponse était affecté par l'âge, mais pas par le sexe. Par ailleurs, ce score était associé au niveau d'éducation du père, mais pas à celui de la mère.

Certains auteurs rapportent un lien entre l'intelligence et les fonctions exécutives (Brydges, 2012). Le lien entre le quotient intellectuel (QI) et l'inhibition varie dans la littérature, selon les études et l'âge de la population étudiée (Lee, 2015; Martin, 2019). Pour le *Test de Hayling*, il n'existe pas d'étude à notre connaissance portant sur la relation entre le QI et les scores chez des enfants d'âge scolaire. Dans une étude de Stedal (2016), les scores au *Test de Hayling* n'étaient pas corrélés au QI verbal et non verbal, chez des adolescentes âgées de 12 à 17 ans.

Deux études ont documenté l'utilité clinique du *Test de Hayling Junior* italien (Shallice et al., 2002) et brésilien (Sartori et al., 2020) chez une population pédiatrique, un indice de sa validité critériée. Une étude employant le *Hayling Junior* italien (Shallice et al., 2002), avait pour objectif de comparer les scores obtenus au test chez des enfants neurotypiques ($n = 33$) et des enfants présentant un TDAH ($n = 31$), âgés de 7 à 12 ans. Les enfants présentant un TDAH étaient moins rapides dans la condition 1 et commettaient davantage d'erreurs dans la condition 2. Dans cette même étude, 47 % des enfants neurotypiques utilisaient une stratégie pour répondre dans la condition 2, alors que ce pourcentage était de 9,5 % pour le groupe TDAH. Une autre étude visait à comparer la performance au *Hayling Junior* brésilien chez des enfants de 8 et 9 ans présentant un trouble développemental de la coordination ($n = 63$), à risque de présenter ce trouble ($n = 31$) ou neurotypiques ($n = 63$; Sartori et al., 2020). Les enfants qui présentaient un trouble développemental de la coordination commettaient plus d'erreurs dans la condition 2 que les enfants neurotypiques 2.

Des études documentant la validité de construit de *Hayling Junior* existent pour la version brésilienne (Pureza et al., 2011) et la version arabe (Bellaj et al., 2016). Le nombre total de mots produits dans la condition de lettres d'un test de *Fluence verbale* était corrélé au temps de réponse des deux conditions du *Hayling Junior* brésilien ($r = -.27, p < .001$), alors que la condition sémantique était corrélée au score

¹ a: constance des résultats aux items d'une échelle; $\alpha = 1$ si les résultats sont constants dans une même échelle.

² κ : mesure d'accord entre deux codeurs; $\kappa = 1$ si les codeurs sont totalement en accord.

³ ICC : mesure d'accord entre deux codeurs; ICC=1 si les codeurs sont totalement en accord.

d'erreur ($r = -.35, p < .001$) et au temps de réponse ($r = -.42, p < .001$) de la condition 2 (Pureza et al., 2011). La *Fluence verbale* est un test qui mesure la production spontanée de mots débutant par une lettre spécifique ou correspondant à une catégorie spécifique, les mots ne respectant pas ces critères devant être inhibés (Perret, 1974). De plus, le score de l'empan visuospatial en ordre inverse, qui mesure la mémoire de travail visuelle, était corrélé au score de contraste de temps de réponse du *Hayling Junior* arabe ($r = -.26, p < .01$; Bellaj et al., 2016).

En somme, la version originale pour adultes du *Test de Hayling* possède de bonnes qualités psychométriques et plusieurs études documentent l'utilité clinique de la version pédiatrique, notamment auprès des enfants qui présentent un TDAH et un trouble développemental de la coordination. Il pourrait être employé auprès des populations cliniques qui présentent des atteintes sur le plan des processus d'inhibition, notamment chez les enfants présentant un syndrome Gilles de la Tourette (SGT; Morand-Beaulieu, 2017), un trouble du spectre de l'autisme (Adams, 2012), qui ont souffert d'un traumatisme craniocérébral (Sinopoli & Dennis, 2012) et chez les enfants nés prématurément (Disselhoff et al., 2020). C'est un outil qui pourrait également s'avérer très pertinent en recherche pour documenter le développement de l'inhibition et plus précisément de l'inhibition verbale chez l'enfant.

Le *Test de Hayling* se distingue des tests d'inhibition existants puisqu'il est entièrement en modalité verbale, c'est-à-dire que les items sont présentés verbalement et que le participant donne sa réponse verbalement. Ainsi, il permet d'évaluer l'inhibition chez les enfants qui présentent des difficultés touchant la vision ou la dénomination rapide (Araújo et al., 2010). De plus, la réponse alternative n'est pas suggérée dans le *Hayling Junior* et le participant doit la générer. C'est également un test qui semble plus écologique en comparaison à d'autres tests d'inhibition, puisque sa forme s'apparente aux manifestations de l'impulsivité verbale au quotidien. Le *Test de Hayling* permet également une dissociation entre les deux processus mesurés par le test : l'initiation et l'inhibition (Volle et al., 2012).

La version originale du *Test de Hayling* pour adultes a été traduite et adaptée pour les enfants d'âge scolaire en France, afin de produire le *Test de Hayling Junior* français (Monnier & Bayard, 2017). L'âge expliquait de 4 à 16 % de la variance des scores et les résultats ne variaient pas selon le sexe. Toutefois, il n'existe pas à notre connaissance de données de validité pour la version française du *Hayling Junior* et il n'existe pas de normes pour la population

québécoise francophone. Or, afin d'analyser et interpréter les résultats aux tests, des normes doivent être utilisées pour situer la performance de l'individu par rapport à une référence. Pour que la comparaison aux normes soit la plus juste possible, les normes doivent avoir été obtenues à l'aide d'un échantillon qui est représentatif de la population de référence (Brooks et al., 2011), c'est-à-dire ayant les mêmes caractéristiques sociodémographiques que la personne évaluée (Colombo et al., 2016).

Objectifs

La présente étude vise à documenter les performances d'enfants neurotypiques francophones québécois au *Test de Hayling Junior* (Monnier & Bayard, 2017) et à explorer les qualités psychométriques de ce test. Il s'agit d'un outil rapide à administrer et qui nécessite peu de matériel. Le premier objectif qui consiste à documenter les performances, nous permettra d'examiner la relation entre les scores au *Hayling Junior* et l'âge, le sexe, le QI verbal et visuel, ainsi que le SSE, puis nous permettra de produire des normes préliminaires. Nous recenserons également les stratégies les plus fréquentes pour trouver un mot alternatif dans la deuxième condition (Burgess & Shallice, 1996). Le second objectif consiste à mesurer les indices psychométriques qui sous-tendent la fidélité et la validité du test. Les indices mesurés sont : la fidélité temporelle, la cohérence interne et la fidélité inter-juges, ainsi que la validité critériée et de construit.

En considérant la littérature scientifique, il est attendu que les scores au *Test de Hayling Junior* soient corrélés à l'âge et au niveau d'éducation des parents, mais qu'ils ne varient pas en fonction du sexe. Aucune hypothèse n'est émise pour le QI, puisque les données portant sur le lien entre le QI et les scores au *Test de Hayling Junior* sont très limitées dans la littérature scientifique. De plus, les résultats à ce sujet pour le *Test de Hayling* chez l'adulte sont très variables. Les stratégies les plus fréquemment utilisées devraient être de nommer un objet dans la pièce ou lié à la phrase précédente. Pour les indices psychométriques, il est attendu que les indices de fidélité et de validité soient adéquats. Les prédictions précises en lien avec les outils de mesure sont décrites dans la partie Analyses de la section Méthode.

Méthode

Participants

Notre échantillon était composé de 32 participants (c.-à-d., 14 filles, 18 garçons) âgés de 8 à 12 ans ($M = 9.47, \hat{E}-T. = 1.32$). Ils étaient majoritairement droitiers (c.-à-d., 87 %) et caucasiens (c.-à-d., 75 %). Le SSE a été mesuré à l'aide de trois indices : le

revenu annuel familial brut et le plus haut diplôme atteint par la mère et par le père de l'enfant (c.-à-d., diplômes d'études secondaires, d'études professionnelles et d'études collégiales, baccalauréat, maîtrise, doctorat). La majorité des parents avaient complété des études universitaires, tant pour la mère (c.-à-d., 84 %) que le père (c.-à-d., 75 %). Les participants provenaient presque exclusivement d'un milieu avec un revenu familial annuel de 100 000 \$ et plus (c.-à-d., 90 %). Les participants devaient avoir le français comme langue de scolarisation ou être en classe régulière en français depuis au moins deux ans. Ils ne devaient pas avoir un diagnostic émis par un professionnel de trouble neurodéveloppemental (cf. Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, cinquième édition; American Psychiatric Association, 2013), de trouble neurologique ou avoir souffert d'un traumatisme cranio-cérébral, de problématique affective ni de trouble du comportement ou des conduites. De plus, les participants se situant à plus de deux écarts-types sous la moyenne par rapport à leur âge chronologique pour le potentiel intellectuel étaient exclus.

Procédures

Le projet a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche du CIUSSS de l'Est-de-l'Île-de-Montréal et de l'Université de Montréal. Le recrutement s'est fait auprès du grand public à l'aide de dépliants et affiches remis dans les camps de jours (c.-à-d., CEPSUM à Montréal et Tennis 13 à Laval), ainsi que publiés sur les réseaux sociaux. Le parent a rempli un questionnaire socio-démographique afin de vérifier les critères d'inclusion et d'exclusion, ainsi qu'un questionnaire comportemental. Les séances d'évaluation avaient lieu à l'Université de Montréal au campus de Montréal et de Laval. L'étude s'est déroulée entre les mois de septembre 2018 et février 2020. Puisque l'étude s'inscrivait dans un projet visant le développement de normes pour plusieurs tests neuropsychologiques, plusieurs tests ont été administrés en plus du *Hayling Junior*. Les tests étaient administrés dans le même ordre de passation pour chaque participant par une étudiante au doctorat en neuropsychologie, ou une étudiante au baccalauréat en psychologie ayant reçu une formation pour administrer les tests du projet de recherche. Une compensation de 15 \$ était remise au participant lors de la première rencontre. La première rencontre était d'une durée approximative de 2 heures et la seconde séance, d'une durée approximative de 30 minutes, qui visait à mesurer l'indice de fidélité test-retest avait lieu de deux à douze semaines suivant la première séance ($M = 6.3$, $\hat{E}.-T. = 5.1$). Cependant, l'indice de fidélité test-retest n'a pu être mesuré, puisque seuls quatre

participants se sont présentés pour la deuxième rencontre d'évaluation. L'accord verbal du parent était obtenu pour enregistrer l'audio du *Hayling Junior*, afin de mesurer l'accord inter-juges pour le temps de réponse. Le protocole du *Hayling Junior* de chaque participant a été corrigé par les deux évaluateurs, afin de mesurer l'accord inter-juges pour les scores d'erreur.

Matériel

Test de Hayling Junior. Le test comprend 20 phrases divisées en deux conditions (Monnier & Bayard, 2017). Dans la première condition du test, chaque phrase est lue à voix haute et le participant doit compléter les phrases le plus rapidement possible (p. ex., On se mouche le...nez). Dans la seconde condition, le participant doit encore une fois terminer les phrases avec un mot, mais le mot ne doit avoir aucune relation sémantique avec la phrase qu'il complète (p. ex., les prisonniers se sont évadés de la... banane). Le temps de réponse en secondes pour chaque item des deux conditions a été enregistré à l'aide d'un chronomètre et un temps de réponse total a été calculé pour chaque condition. Un score de contraste de temps de réponse entre les deux conditions a également été calculé, en soustrayant le temps de réponse total de la condition 1 au temps de réponse total de la condition 2. Pour le score d'erreur, dans la condition 1 mesurant l'initiation, les scores ont été attribués ainsi : mot qui complète la phrase (0), autre mot (1). Dans la condition 2 mesurant l'inhibition, les scores ont été attribués ainsi : mot non lié à la phrase (0), mot relié à la phrase ou au mot qui complète la phrase ou un antonyme (1), mot qui complète la phrase (3). Ainsi, un score d'erreur élevé est associé à une performance faible. Lors de la cotation du score d'erreur, une classe de réponse a été attribuée à chaque réponse, qui représente la catégorie de stratégie utilisée pour répondre par le participant. Pour les mots non liés à la phrase (0 point) les stratégies sont : NP = objet dans la pièce, NI = mot relié sémantiquement à la réponse donnée à l'item précédent, NA = aucune des catégories. Pour les mots reliés à la phrase ou au mot qui complète la phrase ou un antonyme (1 point), les stratégies sont : SP = mot relié sémantiquement au sujet de la phrase, SR = mot relié sémantiquement à la réponse attendue, SV = mot qui complète vaguement la phrase ou qui rend le sens ridicule, SC = mot contraire de celui à inhiber. Enfin, pour les mots qui complètent la phrase (3 points), la stratégie C a été attribuée.

Matrices et Similitudes. Les tests *Matrices et Similitudes* de l'*Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants* – 5e édition : version pour francophones du Canada (WISC-V CDN) ont été administrés afin

⁴ Trouble du spectre de l'autisme, déficience intellectuelle, trouble spécifique des apprentissages, TDAH, troubles de la communication, troubles moteurs.

d'obtenir un estimé du QI et vérifier ce critère d'exclusion (Wechsler, 2015). Ces tests sont ceux qui corrélaient le mieux avec le QI global (c.-à-d., respectivement .69 et .73). Le test *Matrices* évalue le raisonnement visuel. Le participant doit choisir l'item qui complète une matrice incomplète parmi cinq choix. Le test *Similitudes* évalue le raisonnement verbal. Durant ce test, il est demandé au participant de définir le lien conceptuel qui unit deux mots. La fidélité test-retest de ces tests est élevée, soit entre .80 et .89.

ADHD rating scale IV. L'*ADHD rating scale I* (ARS-IV) a été rempli par le parent de l'enfant (DuPaul et al., 1998). Il mesure les symptômes du TDAH. Le questionnaire comprend une échelle *inattention*, une échelle *hyperactivité/impulsivité* et un score global intégrant les deux échelles. L'échelle *hyperactivité/impulsivité* a servi pour la validité critériée, afin de mesurer l'association entre les résultats au *Hayling Junior* et la présence de comportements d'impulsivité au quotidien. Le questionnaire présente une très bonne fidélité test-retest (c.-à-d., entre .80 et .90) et cohérence interne (c.-à-d., entre .86 et .96; DuPaul et al., 1998; Pappas, 2006).

Interférence couleur-mot. Le test *Interférence couleur-mot* mesure l'inhibition et la flexibilité cognitive. Le test comprend quatre conditions (Delis et al., 2001). D'abord dans la condition 1, le participant doit dénommer des couleurs. Dans la condition 2, le participant doit lire des noms de couleurs. Ensuite, dans la condition 3 le participant doit nommer la couleur de l'encre et non lire le mot. Enfin, dans la condition 4, le participant doit alterner entre nommer la couleur de l'encre et lire le mot en fonction d'un indice visuel. Le score de temps de la condition 3, le nombre d'erreurs ainsi que le score contraste de temps entre la condition 3 et la condition 1 ont été utilisés pour la validité convergente. La cohérence interne pour ce test est adéquate (c.-à-d., .70 à .79) et la fidélité test-retest varie de marginale à adéquate (c.-à-d., entre .60 et .79; Strauss et al., 2006).

Fluence verbale. Il s'agit d'un test qui mesure la fluence verbale, l'inhibition et la flexibilité cognitive (Delis et al., 2001). Le test comprend trois conditions (c.-à-d., lettres, sémantique et alternance), durant lesquelles le participant doit dire le plus de mots possible durant un délai prédéfini. Le nombre total de mots pour la condition de lettres et pour la condition sémantique ont été utilisés pour la validité convergente. La fidélité test-retest pour ce test varie d'adéquate à élevée (c.-à-d., entre .70 et .89) et la cohérence interne varie de marginale à élevée (c.-à-d., entre .60 et .89; Strauss et al., 2006).

Tour de Londres-Drexel. Le test de la *Tour de Londres-Drexel* mesure la planification et la résolution de problème (Culbertson & Zillmer, 2001; Shallice, 1982). Le participant doit reproduire les modèles d'une tour à l'aide de billes de couleur sur des tiges de bois en respectant certaines règles. Le temps d'initiation (c.-à-d., délai avant le premier mouvement, temps pris pour planifier la résolution) et le nombre de bris de règles, qui pour leur part évaluent l'inhibition, ont été utilisés pour la validité convergente. Ce test présente une bonne validité test-retest pour le score total et le score de bris de temps (c.-à-d., .81), mais faible pour les bris de règles (c.-à-d., .41; Culbertson et al., 1997).

Mémoire spatiale – The Wechsler Intelligence Scale for Children. Le *Wechsler Intelligence Scale for Children* (WISC-IV-Integrated) mesure la mémoire de travail en modalité visuelle et comprend deux conditions (Wechsler, 2004). Dans la première condition, qui mesure l'encodage en mémoire de travail, l'évaluateur pointe des blocs disposés sur une plateforme dans un ordre précis et le participant doit reproduire les séquences dans le même ordre. Dans la seconde condition, qui mesure la manipulation en mémoire de travail, le participant doit reproduire les séquences dans l'ordre inverse. Le score en ordre inverse a été utilisé pour la validité convergente. La cohérence interne et la fidélité test-retest sont adéquates pour ce test (c.-à-d., entre .70 et .79; Strauss et al., 2006).

Analyses statistiques et prédictions

Performances au test de Hayling Junior. L'association entre la performance au *Hayling Junior* et l'âge a été mesurée par des corrélations de Pearson. Il était attendu que les enfants plus âgés commettent moins d'erreurs et aient un contraste de temps de réponse plus court. Pour la relation entre les scores au *Hayling Junior* et le QI verbal et visuel, des corrélations de Pearson ont été employées. Concernant le SSE, seul le niveau d'éducation de la mère et du père a été employé dans les analyses considérant la très faible variabilité du revenu familial annuel brut. Des corrélations de Spearman ont été employées pour mesurer la relation entre les scores au *Hayling Junior* et le niveau d'éducation des parents, puisque le niveau d'éducation est une variable ordinale. Il était attendu que le niveau d'éducation soit corrélé négativement aux scores au *Hayling Junior*. Ensuite, un test-*t* à échantillons indépendants a été conduit afin de vérifier si les scores au *Hayling Junior* étaient différents selon le sexe. Nous nous attendions à l'absence de différence significative entre la performance des filles et celle des garçons. Les normes préliminaires ont été produites et les stratégies les plus fréquemment utilisées dans la condition inhibition ont été recensées. Il était prévu qu'elles soient de nommer un objet

présent dans la pièce ou un mot relié à la phrase précédente (Shallice et al., 2002).

Fidélité. Pour la fidélité test-retest, il était attendu que les résultats soient constants dans le temps, c'est-à-dire, que les résultats aux deux temps de mesure soient fortement corrélés entre eux ($r > .5$; Hemphill, 2003). Quant à la cohérence interne, les scores de vitesse et de précision au *Hayling Junior* ne devaient pas varier significativement dans une même condition et l'alpha de Cronbach devait être adéquat ($\alpha > .70$; Peterson, 1995). Enfin, il était attendu que l'accord inter-juge, tel que mesuré par le kappa de Cohen ou le coefficient de corrélation intra-classe, soit également adéquat ($\kappa > .6$, ICC $> .75$; Koo & Li, 2016; Landis & Koch, 1977). Pour les scores d'erreur et la classification des réponses dans la condition 2, le Kappa de Cohen a été employé puisque ce sont respectivement des variables ordinale et nominale. Quant au temps de réponse, le coefficient de corrélation intra-classe a été employé puisqu'il s'agit d'une variable continue.

Validité. Des corrélations de Pearson ont été faites entre les scores d'erreur de la condition 2 et de contraste de temps de réponse du *Hayling Junior* et les autres instruments de mesure, puisque ce sont les scores qui visent à mesurer l'inhibition. Pour la validité critériée, il était attendu qu'un score plus élevé à l'échelle *Hyperactivité/Impulsivité* du *ARS-IV* soit corrélé à un score d'erreur et un contraste de temps plus élevés au *Hayling Junior*. Pour la validité de construit, il était attendu que des scores d'erreur et de contraste de temps de réponse élevés dans la condition

3 du test *Interférence couleur-mot* soient associés à des scores d'erreur et de contraste de temps de réponse plus élevés au *Hayling Junior*. D'autre part, un nombre de mots total élevé dans la condition de lettre et la condition sémantique au test de *Fluence verbale* devait être associé à un score d'erreur plus faible et un contraste de temps de réponse plus court au *Hayling Junior*. Également, le temps d'initiation à la *Tour de Londres* devait être associé négativement aux scores d'erreur et de contraste de temps au *Hayling Junior*. De plus, il était attendu qu'une augmentation du nombre de bris de règles à la *Tour de Londres* soit associée à une augmentation du score d'erreur et du contraste de temps de réponse au *Hayling Junior*. Enfin, les scores d'erreur et de contraste de temps au *Hayling Junior* devaient être négativement associés à un score en ordre inverse du test de *Mémoire spatiale*.

Résultats

Analyses préliminaires

Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel SPSS (version 25). Les statistiques descriptives des variables sont présentées dans le Tableau 1. Les scores bruts des variables ont été utilisés pour les analyses puisque les scores du *Hayling Junior* sont bruts. La normalité des variables a été évaluée à l'aide du test de *Shapiro-Wilk*. Les variables suivantes étaient distribuées normalement : *Hayling Junior* (c.-à-d., temps de réponse condition 1, score d'erreur condition 2), *Fluence verbale* (c.-à-d., total de mots condition de lettres, total de mots condition

Tableau 1

Statistiques descriptives des tests cognitifs et du questionnaire comportemental

	<i>M</i>	<i>É.-T.</i>	<i>Méd.</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
	Scores Bruts				
<i>Hayling Junior</i>					
Condition 1 – Score d'erreur	0.06	0.25	0.00	0.00	1.00
Condition 1 – Temps de réponse (sec.)	8.37	2.21	8.59	4.09	12.65
Condition 2 – Score d'erreur	7.94	3.27	8.00	2.00	15.00
Condition 2 – Temps de réponse (sec.)	46.93	29.67	42.31	15.59	172.80
Contraste de temps de réponse (sec.)	38.57	29.34	34.99	6.40	161.59
<i>WISC-V</i>					
<i>Similitudes</i>	28.47	5.05	27.50	21.00	39.00
<i>Matrices</i>	19.81	2.85	20.00	13.00	26.00
<i>Interférence couleur-mot</i>					
Condition inhibition – Temps (sec.)	79.06	23.25	75.50	43.00	156.00
Inhibition vs dénomination – Temps (sec.)	39.28	18.28	35.00	10.00	103.00
Condition inhibition – Total erreurs	2.88	1.76	2.50	1.00	7.00
<i>Fluence verbale</i>					
Condition de lettres – Total de mots	20.13	7.08	20.00	6.00	35.00
Condition sémantique – Total de mots	35.03	10.15	32.50	9.00	58.00
<i>Mémoire spatiale</i>					
Ordre inverse	6.84	1.74	7.00	3.00	11.00
<i>ARS-IV</i>					
<i>Hyperactivité/Impulsivité</i>	4.63	5.40	3.00	0.00	21.00
<i>Tour de Londres</i>					
Temps d'initiation (sec.)	23.47	11.16	21.00	13.00	61.00
Bris de règles	0.41	0.67	0.00	0.00	2.00

Tableau 2

Coefficients de corrélation de Pearson et de Spearman entre les scores au Hayling Junior et l'âge, le niveau d'éducation des parents et le QI

	Condition 1 – Temps de ré-	Condition 2 – Score d'erreur	Condition 2 – Temps de réponse (sec.)	Contraste de temps de réponse (sec.)
	<i>r</i>			
Âge	-.39*	.14	-.32	-.23
Similitudes – Score brut	-.62**	.08	-.29	-.18
Matrices – Score brut	-.20	.10	-.14	-.09
	<i>r_s</i>			
Éducation mère	.13	-.10	.08	.06
Éducation père	-.06	-.20	.20	.21

Note. *r* = coefficient de corrélation de Pearson; *r_s* = coefficient de corrélation de Spearman; * = $p < .05$; ** = $p < .01$.

sémantique), *Mémoire spatiale* (c.-à-d., ordre inverse) et *Matrices et Similitudes*.

Des transformations ont été appliquées aux autres variables afin que la normalité soit respectée. La transformation logarithmique a été appliquée aux variables suivantes : *ARS-IV* (c.-à-d., échelle *Hyperactivité/Impulsivité*), *Interférence couleur-mot* (c.-à-d., temps condition inhibition, temps inhibition vs. dénomination), *Hayling Junior* (c.-à-d., temps de réponse condition 2, contraste de temps de réponse). La transformation inverse a été appliquée à la *Tour de Londres* (c.-à-d., temps d'initiation). Enfin, la transformation de racine carrée a été appliquée aux variables suivantes : *Interférence couleur-mot* (c.-à-d., total erreurs, condition inhibition) et *Tour de Londres* (c.-à-d., bris de règles). Le score d'erreur de la condition 1 du *Test de Hayling Junior* ne respectait pas la normalité à la suite des transformations. Ce score a été retiré des analyses subséquentes puisque la variance était très faible (cf. Tableau 1). Enfin, les données employées pour les analyses de cohérence interne et de fidélité inter-juges n'étaient pas distribuées normalement.

Performances au Test de Hayling Junior.

Facteurs sociodémographiques. Le temps de réponse de la condition 1 était modérément corrélé

avec l'âge et le temps de réponse de la condition 2 était non significativement associé à l'âge (cf. Tableau 2). Une ANOVA à un facteur a été faite pour vérifier si le temps de réponse de la condition 1 et de la condition 2 étaient différents entre les groupes d'âge, considérant les corrélations modérées. Le temps de réponse de la condition 1 diminuait avec l'âge, $F(4, 27) = 1.70, p = .18$, de même pour la condition 2, $F(4, 27) = 1.07, p = .39$, mais ces résultats n'étaient pas significatifs. De plus, considérant que le potentiel intellectuel moyen des participants était supérieur à la moyenne (cf. Tableau 1), la relation entre cette variable et les scores au *Hayling Junior* a été mesurée à l'aide de corrélations de Pearson (cf. Tableau 2). Le score au test *Similitudes* était fortement corrélé au temps de réponse de la condition 1.

Il n'y avait pas de différence significative entre les filles et les garçons, et ce, pour tous les scores au *Hayling Junior* (c.-à-d., temps de réponse condition 1, $t(30) = 1.43, p = .6$, score d'erreur condition 2, $t(30) = -0.55, p = .59$, temps de réponse condition 2, $t(30) = 0.54, p = .59$, et contraste de temps de réponse $t(30) = 0.24, p = .81$).

Normes. Les normes préliminaires pour le *Hayling Junior* ont été produites en percentiles puisque les scores n'étaient pas distribués normalement (cf. Tableau 3). Puisque les scores ne variaient pas

Tableau 3

Normes préliminaires en percentiles pour le Hayling Junior

	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
Condition 1 Temps de réponse (sec.)	4.83	5.49	6.82	8.37	9.91	11.24	11.90
Condition 2	2.70	3.68	5.65	7.94	10.23	12.19	13.17
Condition 2 Temps de réponse (sec.)	9048	16.00	42.28	117.89	298.83	622.38	881.08
Contraste de temps de réponse (sec.)	1.01	2.41	11.34	53.25	203.14	563.47	904.78

Tableau 4

Catégories de réponse attribuées lors de la correction selon l'évaluateur

	Évaluateur 1		Évaluateur 2	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
C	33	9	30	8
SP	26	7	25	7
SR	9	3	11	3
SV	157	44	157	44
SC	1	0	1	0
NP	36	10	36	10
NI	2	1	2	1
NA	94	26	96	27

Note. C = mot qui complète la phrase; SC = mot contraire de celui à inhiber; SP = mot relié sémantiquement au sujet de la phrase; SR = mot relié sémantiquement à la réponse attendue; SV = mot qui complète vaguement la phrase ou qui rend le sens ridicule; NA = aucune des catégories; NI = mot relié sémantiquement à la réponse donnée à l'item précédent; NP = objet dans la pièce.

significativement selon l'âge ou le sexe, les normes n'ont pas été présentées en fonction de ces facteurs. Pour produire les normes des variables transformées (c.-à-d., temps de réponse condition 2 et contraste de temps de réponse), les scores transformés équivalents aux percentiles ont d'abord été établis. Ensuite, la transformation inverse a été appliquée aux scores afin d'obtenir les scores sur l'échelle d'origine.

Stratégies. La stratégie la plus fréquemment employée était de nommer un objet dans la pièce (NP; cf. Tableau 4).

Fidélité.

Cohérence interne. Pour les temps de réponse, la cohérence était faible pour la condition 1, $\alpha = .66$, mais adéquate pour la condition 2, $\alpha = .71$, et pour le contraste de temps de réponse, $\alpha = .70$. Quant au score d'erreur pour la condition 2, la cohérence était faible, $\alpha = .48$. L'analyse subséquente des items individuels pour chaque variable montrait une cohérence interne

adéquate lorsque l'item 10 était retiré pour le temps de réponse de la condition 1, $\alpha = .76$.

Fidélité inter-juges. Un accord élevé a été obtenu pour le score d'erreur, $\kappa = .95$, $p < .001$, la classification des réponses, $\kappa = .97$, $p < .001$, le temps de réponse de la condition 1, ICC = .77, et le temps de réponse de la condition 2, ICC = .84.

Validité.

Validité critériée. Les corrélations n'étaient pas significatives entre l'échelle *Hyperactivité/Impulsivité* du *ARS-IV* et les scores au *Hayling Junior* (cf. Tableau 5).

Validité de construit. Pour la validité convergente, les corrélations n'étaient pas significatives (cf. Tableau 5), excepté pour le total de mots de la condition de lettres (c.-à-d., *Fluence verbale*) qui était significativement corrélé au contraste de temps de réponse du *Hayling Junior*.

Tableau 5

Coefficients de corrélation de Pearson pour les indices de validité

	Condition 2 – Score d'erreur	Contraste de temps de réponse (sec.)
	<i>r</i>	
<i>ARS</i> : scores bruts		
<i>Hyperactivité/Impulsivité</i>	.20	-.11
Interférence couleur-mot : scores bruts		
Condition inhibition – Temps (sec.)	-.03	.22
Inhibition vs dénomination – Temps (sec.)	-.03	.28
Condition inhibition – Total erreurs	.28	-.28
<i>Fluence verbale</i> : Scores Bruts		
Condition de lettres – Total de mots	-.06	-.39*
Condition sémantique – Total de mots	-.06	-.28
<i>Tour de Londres</i> : scores bruts		
Temps d'initiation	.06	-.02
Bris de règles	-.28	.29
<i>Mémoire spatiale</i> : Scores Bruts		
Ordre inverse	.28	.02

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

Discussion

La présente étude a permis d'étudier la relation entre les scores au *Hayling Junior* et certains facteurs sociodémographiques, ainsi que de produire des normes préliminaires en percentiles. Les stratégies les plus fréquemment utilisées pour répondre dans la condition 2 ont été recensées et les qualités psychométriques du test ont été documentées.

Au regard des facteurs sociodémographiques et des stratégies employées, plusieurs résultats convergent avec ceux présents dans la littérature scientifique, notamment l'absence de différence entre les filles et les garçons (Monnier & Bayard, 2017) et la stratégie plus fréquemment employée pour répondre dans la condition 2, qui est de nommer un objet dans la pièce (Burgess & Shallice, 1997; Clark et al., 2000; Robinson et al., 2015; Shallice et al., 2002; Stedal et al., 2016). Cependant, certains résultats diffèrent de ce qui était attendu, précisément quant à l'âge et au niveau d'éducation des parents.

Il était attendu que les enfants plus âgés aient une meilleure performance que les enfants plus jeunes. De manière cohérente avec la littérature scientifique (Monnier & Bayard, 2017; Pureza et al., 2013; Shallice et al., 2002; Siqueira et al., 2016), nos résultats suggèrent que les enfants plus jeunes ont un temps de réponse plus long dans la condition 1 et dans la condition 2 associé au score d'erreur de la condition 2, alors qu'elle l'était dans les études antérieures (Pureza et al., 2013; Shallice et al., 2002; Siqueira et al., 2016), notamment dans l'étude de Monnier et Bayard (2017) avec la version du *Hayling Junior* utilisée dans notre étude. L'échantillon dans l'étude de Monnier et Bayard (2017) était plus grand et chaque groupe d'âge comptait davantage de participants, ce qui peut expliquer la différence entre leurs résultats et les nôtres.

Il était également attendu que la performance au *Hayling Junior* soit associée au niveau d'éducation des parents, puisque ce facteur était un prédicteur de la performance pour tous les scores au *Hayling Junior* dans une étude au Brésil (Jacobsen et al., 2017). Encore une fois, la différence entre nos résultats et ceux de cette étude pourrait s'expliquer par la taille d'échantillon plus large dans l'étude au Brésil. De plus, la variable du niveau d'éducation des parents présentait peu de variabilité dans notre étude. Il est possible que nous ayons identifié une relation si les différents niveaux d'éducation avaient été représentés de manière plus uniforme.

Concernant le fonctionnement intellectuel, aucune hypothèse n'a été émise considérant le peu de données disponibles dans la littérature scientifique. Une étude documentait le lien entre le QI et les résultats au *Test*

de Hayling auprès d'adolescentes âgées de 12 à 17 ans (Stedal et al., 2016). Le QI global n'était pas associé aux scores du *Hayling* selon les résultats de cette étude. Dans notre étude, la performance au *Hayling Junior* n'était pas associée au fonctionnement intellectuel visuel, mais le fonctionnement intellectuel verbal était associé négativement au temps de réponse de la condition 1 et au temps de réponse de la condition 2 (c.-à-d., non significatif) du *Hayling Junior*. Cependant, le QI verbal moyen des participants dans la présente étude était supérieur à la moyenne (c.-à-d., moyenne élevée). Ce QI verbal moyen élevé a pu avoir une incidence sur la corrélation obtenue entre le score au sous-test *Similitudes* et les scores au *Hayling Junior*. Dans la littérature scientifique, l'inhibition n'est généralement pas associée à l'intelligence chez la population adulte (Benedek, 2014; Friedman, 2006; Martin, 2019). Pour la population pédiatrique, les données sont plus limitées. Dans une étude auprès d'enfants d'âge préscolaire (Lee, 2015), le score à une tâche stop-signal était corrélé à une mesure de l'intelligence verbale. Dans une autre étude auprès d'enfants d'âge scolaire (Arffa, 2007), le score de la condition inhibition du test *Interférence couleur-mot*, était associé au QI général (c.-à-d., verbal et visuel).

En ce qui concerne la fidélité, l'accord inter-juges est élevé pour l'ensemble des scores, ce qui est cohérent avec la littérature scientifique et signifie que les résultats obtenus au *Hayling Junior* ne varient pas selon l'évaluateur pour une même performance (Bayard et al., 2017; Pérez-Pérez et al., 2016; Spitoni et al., 2017). Cependant, la cohérence interne est insuffisante pour le temps de réponse de la condition 1 et le score d'erreur de la condition 2. Au contraire, dans les études chez l'adulte la cohérence interne était au moins acceptable pour l'ensemble des scores (Burgess & Shallice, 1997; Hallit et al., 2020; Pérez-Pérez et al., 2016; Spitoni et al., 2017). Cette disparité peut être due aux différences entre les items de la version pour enfants et celle pour adultes. Par ailleurs, lorsque Monnier et Bayard (2017) ont développé la version française du *Hayling Junior* employée dans notre étude, les phrases sélectionnées étaient celles pour lesquelles le mot cible était produit par tous les participants. Il est possible que certains termes moins fréquemment employés au Québec qui se trouvent dans les phrases affectent la cohérence interne. De plus, les données utilisées pour la cohérence interne n'étaient pas distribuées normalement, ce qui a pu affecter les analyses (Sheng & Sheng, 2012).

Pour la validité critériée, les scores au *Hayling Junior* ne sont pas associés à l'échelle d'impulsivité du questionnaire comportemental. Il n'existe pas à notre connaissance d'études mesurant la relation entre le *ARS-IV* et les tests cognitifs. Par contre, plusieurs

études démontrent une faible relation entre les échelles comportementales et les tests cognitifs dans la littérature scientifique (Saunders et al., 2018; Soto et al., 2020). Dans une méta-analyse de Toplak et al. (2013), les échelles qui mesuraient l'impulsivité dans des questionnaires comportementaux étaient faiblement corrélées aux tests mesurant l'inhibition. Les questionnaires mesureraient davantage l'inhibition telle qu'elle se manifeste dans les comportements au quotidien, alors que les tests mesureraient des processus cognitifs précis, ce qui expliquerait les faibles corrélations (Soto et al., 2020; Toplak et al., 2013).

Pour la validité de construit convergente, il était attendu que les scores au *Hayling Junior* soient associés à d'autres tests qui mesurent l'inhibition ou qui mesurent des FE y étant étroitement lié. La majorité des corrélations entre le *Hayling Junior* et les autres tests cognitifs ne sont pas significatives, ce qui est probablement dû à la taille restreinte de l'échantillon. La taille d'effet ainsi que la direction des corrélations pourraient également être affectées par la taille limitée de l'échantillon (Goodwin et Leech, 2006). Ainsi, l'interprétation de ces corrélations doit ici se faire avec prudence.

D'abord, plusieurs de nos résultats suggèrent que le *Test de Hayling* présente une bonne validité de construit, puisque les scores qui mesurent l'inhibition sont associés à d'autres tests qui mesurent ce construit. Notamment, un plus grand nombre de mots produits dans la condition de lettres au test de *Fluence verbale*, qui sollicite l'inhibition (Perret, 1974), est associé à un contraste de temps de réponse plus faible au *Hayling Junior*. Cela semble être également le cas pour la condition sémantique, mais cette relation n'est pas significative. Ces résultats convergent avec ceux de Pureza et al. (2011) obtenus auprès d'enfants âgés de 8 à 12 ans avec le *Hayling Junior* brésilien. Ensuite, nos résultats suggèrent qu'un nombre élevé de bris de règle à la *Tour de Londres*, une mesure d'inhibition (Jacobs & Anderson, 2002), est associé (non significativement) à un contraste de temps de réponse plus élevé au *Hayling Junior*, comme attendu. Également, le score d'erreur du test *Interférence couleur-mot*, qui mesure l'inhibition (Stroop, 1935), est associé positivement (non significativement) au score d'erreur du *Hayling Junior* et les scores de contraste de temps du test *Interférence couleur-mot* et du *Hayling Junior* sont associés positivement (non significativement). Cependant, les scores de contraste du test *Interférence couleur-mot* et du *Hayling Junior* n'étaient pas corrélés ensemble dans une étude auprès d'enfants tunisiens (Bellaj et al., 2016). La divergence des résultats entre notre étude et celle de Bellaj et al. (2016) pourrait s'expliquer par des facteurs culturels. En effet, plusieurs études dans la littérature

scientifique démontrent que la performance aux tests neuropsychologiques et le construit mesuré par ces tests peuvent varier selon la culture (Fasfous et al., 2013; Olson & Jacobson, 2015). De plus, puisque le *Hayling Junior* est un test en modalité verbale, il est possible que la version arabe et la version française ne soient pas parfaitement équivalentes. Par ailleurs, l'échantillon dans l'étude de Bellaj et al. (2016) était de plus grande taille (c.-à-d., $n = 120$), et il est possible que nous ayons également obtenu une absence de corrélation si notre échantillon avait été plus grand. En effet, dans le même sens que l'étude de Bellaj et al. (2016), plusieurs études démontrent que les tests d'inhibition sont généralement peu corrélés entre eux (Duckworth & Kern, 2011; Hartung et al., 2020).

Ensuite, bien que plusieurs de nos résultats soutiennent la validité de construit du *Hayling Junior*, certains scores au *Hayling Junior* ne sont pas associés à d'autres mesures de l'inhibition ou de la mémoire de travail dans notre étude. En effet, les scores au *Hayling Junior* et le temps d'initiation de la *Tour de Londres*, qui est une mesure d'inhibition, ne sont pas corrélés ensemble. Au contraire, dans la littérature scientifique, le score d'erreur de la condition 2 du *Test de Hayling* était corrélé au temps d'initiation de la *Tour de Londres* chez de jeunes adultes (Andrés & Van der Linden, 2000). Il est possible que la différence entre les enfants et les adultes explique la divergence entre nos résultats et ceux obtenus par Andrés et Van der Linden (2000). De manière similaire à nos résultats, le score d'erreur au test *Interférence couleur-mot*, qui mesure aussi l'inhibition, n'était pas corrélé au temps d'initiation de la *Tour de Londres* chez l'enfant (Albert & Steinberg, 2011). Cependant, dans une autre étude chez l'enfant, le temps d'initiation de la *Tour de Londres* était associé à la performance au test *Antisaccade*, qui mesure l'inhibition motrice (Asato et al., 2006). Ainsi, il se peut que chez l'enfant le temps d'initiation de la *Tour de Londres* mesure davantage l'inhibition motrice, alors que le *Test de Hayling* mesure davantage l'inhibition en modalité verbale. Également, il est possible que le temps d'initiation ait été davantage associé aux capacités de planification plutôt que d'inhibition dans notre étude. En ce sens, un temps d'initiation plus rapide indiquerait de meilleures capacités de planification, plutôt que la présence d'impulsivité, puisque les enfants auraient besoin de moins de temps pour planifier la résolution du problème. D'autre part, l'absence de corrélation entre le *Hayling Junior* et le test de *Mémoire Spatiale*, qui mesure la mémoire de travail, n'était pas attendue. Au contraire, dans les modèles développementaux des FE, l'inhibition et la mémoire de travail sont étroitement liées (Diamond, 2006). Plusieurs études démontrent que l'inhibition et plus précisément le contrôle de

l'interférence sont corrélés à la mémoire de travail chez l'enfant et l'adolescent (Canet Juric et al., 2015; Engel de Abreu et al., 2014; Palladino et Ferrari, 2013). De plus, la performance au *Hayling Junior* était corrélée à une tâche de mémoire de travail visuelle chez l'enfant dans une étude antérieure au Brésil (Pureza et al., 2011) et le score de contraste de temps était corrélé au score inverse du test de *Mémoire spatiale* dans une étude tunisienne (Bellaj et al., 2016). Il est possible encore une fois que des aspects culturels et la taille d'échantillon, qui était supérieure dans ces études (c.-à-d., $n = 59$ et $n = 120$), expliquent la différence entre nos résultats et les leurs.

Enfin, certains résultats sont inverses à ce qui était attendu. Nos résultats suggèrent non significativement que les enfants qui font plus d'erreurs au test *Interférence couleur-mot* ont un contraste de temps de réponse plus court au *Hayling Junior*. De plus, nos résultats suggèrent qu'un nombre plus élevé de bris de règles serait associé (non significativement) à moins d'erreurs au *Hayling Junior*. Les participants ont commis peu d'erreurs au test *Interférence couleur-mot* et de bris de règle à la *Tour de Londres*, la variabilité de ces scores est donc très faible, ce qui a pu affecter la direction de la corrélation. D'autre part, pour le score d'erreur du test *Interférence couleur-mot*, il est possible que les participants se soient ralentis pour ne pas faire d'erreur dans le *Hayling Junior* et dans le test *Interférence couleur-mot*. Une tendance à privilégier la précision au détriment de la vitesse expliquerait qu'un moins grand nombre d'erreurs au test *Interférence couleur-mot* soit associé à un plus long contraste de temps de réponse au *Hayling Junior*. En ce sens, l'ajout d'un score qui permet de pondérer une performance durant laquelle la précision serait privilégiée au détriment de la vitesse ou inversement pourrait être pertinent, comme dans le test *Inhibition* de la *NEPSY-II* (Miller, 2010).

En somme, nos résultats suggèrent que les scores mesurant l'inhibition au *Hayling Junior* sont associés à d'autres tests qui mesurent l'inhibition : la *Fluence verbale*, le test *Interférence couleur-mot* et le nombre de bris de règles de la *Tour de Londres*. Toutefois, l'inhibition telle que mesurée par le *Hayling Junior* n'est pas corrélée à l'inhibition mesurée par le temps d'initiation dans la *Tour de Londres*. Les scores au *Hayling Junior* ne sont pas non plus corrélés à la mémoire de travail, contrairement à ce qui était attendu.

Notre étude est la première à notre connaissance qui mesure exhaustivement plusieurs types de validité et de fidélité pour le *Hayling Junior* chez une population pédiatrique. C'est aussi la première étude préliminaire de validation et normalisation pour le *Hayling Junior* au Québec. Le développement

éventuel de normes pour cet outil au cours d'études ultérieures et auprès d'un plus large échantillon, sera utile auprès des cliniciens, leur donnant ainsi un outil supplémentaire pour mesurer l'inhibition. L'objectif de la présente étude préliminaire répond au manque de normes développées auprès de la population québécoise. En effet, les normes employées en neuropsychologie proviennent majoritairement des États-Unis ou de l'Europe et ne sont pas adaptées à notre population, ce qui affecte la qualité et la justesse des interprétations faites à partir des résultats au test. Il est donc important d'avoir conscience de ces limites et d'y remédier en faisant usage de jugement clinique ou en utilisant des tests complémentaires pour étayer les interprétations des résultats obtenus.

En raison de sa nature préliminaire, la présente étude comprend quelques limites. Bien que l'échantillon soit composé presque également de filles et de garçons dans chaque groupe d'âge, une majorité des enfants étaient âgés de 8 ans. D'autre part, la taille restreinte de l'échantillon a pu affecter la puissance statistique et peut expliquer la non significativité de plusieurs résultats. De plus, la taille d'échantillon diminue la représentativité des normes. La représentativité peut être aussi affectée par le biais d'échantillonnage. En effet, la majorité des participants ont été recrutés dans le même camp de jour et ils risquent d'être peu représentatifs de l'ensemble des enfants québécois. D'autre part, la majorité des participants proviennent de Montréal ou de Laval et ont un revenu familial annuel brut élevé, ce qui diminue également la représentativité de l'échantillon et la généralisation des résultats à l'ensemble des enfants québécois. De plus, le revenu familial annuel brut n'a pas été inclus dans les analyses comme indice du SSE en raison de la très faible variabilité de cette variable. Ainsi, seul le niveau d'éducation des parents a été considéré. Cependant, la mesure du SSE s'appuyant uniquement sur le niveau d'éducation des parents n'apparaît pas comme une limite dans la présente étude. En effet, dans les études antérieures portant sur le *Hayling Junior*, le niveau d'éducation des parents était employé comme mesure du SSE. De plus, dans la littérature scientifique, le niveau d'éducation des parents est un important prédicteur du SSE parmi les composants ou indices qui sont employés (Calvo et Bialystok, 2014; Lawson et al.; Mistry et al., 2008).

D'autre part, le potentiel intellectuel moyen des participants était plus élevé que la moyenne dans notre étude. Ainsi, dans une étude future, il serait souhaitable d'assurer une meilleure représentativité du QI verbal, avec une plus grande variabilité des scores. Ceci permettra une généralisation des résultats à une plus large population, mais permettra également d'étudier le lien entre le *Hayling Junior* et les

habiletés langagières. En plus de cibler une plus grande variabilité du QI verbal, il est recommandé de poursuivre le recrutement dans différentes régions afin d'augmenter la représentativité et d'obtenir un échantillon plus grand avec davantage d'enfants dans chaque catégorie d'âge. L'utilisation de normes non représentatives de la population, c'est-à-dire n'ayant pas les mêmes caractéristiques sociodémographiques ou de normes qui proviennent d'un échantillon de taille restreinte, peut mener à des interprétations diagnostiques erronées (Fernandez et Marcopulos, 2008).

Conclusion

Cette étude contribue au développement des normes québécoises pédiatriques et apporte des données préliminaires de validité pour le *Hayling Junior*. Le *Hayling Junior* permet aux cliniciens d'évaluer l'inhibition verbale et permet aux chercheurs de mieux documenter le développement et la structure de l'inhibition auprès de la population pédiatrique. Le *Hayling Junior* présente une bonne fidélité inter-juges, toutefois, la cohérence interne et test-retest demeurent à investiguer davantage. Des normes préliminaires et des données sur la validité de l'outil ont été présentées. D'autres études demeurent nécessaires, avec un plus grand échantillon et des participants provenant de milieux plus diversifiés, afin de documenter davantage les propriétés psychométriques de l'outil et produire des normes plus représentatives de la population québécoise. Les normes pour les tests utilisés au Québec proviennent fréquemment d'ailleurs et ne sont pas adaptées à notre population. Or, il est important que les cliniciens puissent se fier à des normes valides et représentatives de la population lors de leurs évaluations. Autrement, la validité des conclusions ou des diagnostics émis à l'aide de ces normes peut être compromise.

Références

- Adams, N. C., & Jarrold, C. (2012). Inhibition in autism: Children with autism have difficulty inhibiting irrelevant distractors but not prepotent responses. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *42*, 1052-1063. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1345-3>
- Albert, D., & Steinberg, L. (2011). Age differences in strategic planning as indexed by the Tower of London. *Child Development*, *82*, 1501-1517. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01613.x>
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5)*. American Psychiatric Pub.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, *8*, 71-82. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Andrés, P., & Van der Linden, M. (2000). Age-related differences in supervisory attentional system functions. *The Journals of Gerontology: Series B*, *55*, 373-380. <https://doi.org/10.1093/geronb/55.6.P373>
- Araújo, S., Pacheco, A., Faisca, L., Petersson, K. M., & Reis, A. (2010). Visual rapid naming and phonological abilities: Different subtypes in dyslexic children. *International journal of Psychology*, *45*, 443-452. <https://doi.org/10.1080/0207594.2010.499949>
- Arffa, S. (2007). The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *22*, 969-978. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.001>
- Asato, M. R., Sweeney, J. A. & Luna, B. (2006). Cognitive processes in the development of TOL performance. *Neuropsychologia*, *44*, 2259-2269. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.05.010>
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, *20*, 136-140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Bari, A. & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, *108*, 44-79. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005>
- Barkley, R. A. (1999). Response inhibition in attention-deficit hyperactivity disorder. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, *5*, 177-184. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2779\(1999\)5:3<177::AID-MRDD3>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2779(1999)5:3<177::AID-MRDD3>3.0.CO;2-G)
- Bayard, S., Gely-Nargeot, M. C., Raffard, S., Guerdoux-Ninot, E., Kamara, E., Gros-Balthazard, F., Jacus, J. P., Moroni, C., & College des Psychologues Cliniciens specialises en Neuropsychologie du Languedoc. (2017). French version of the Hayling Sentence Completion Test, Part I: Normative data and guidelines for error scoring. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *32*, 585-591. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx010>
- Bellaj, T., Salhi, I., Le Gall, D., & Roy, A. (2016). Development of executive functioning in school-age Tunisian children. *Child Neuropsychology*, *22*, 919-954. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1058349>
- Benedek, M., Jauk, E., Sommer, M., Arendasy, M., & Neubauer, A. C. (2014). Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence*, *46*, 73-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.05.007>
- Bernier, A., Carlson, S. M., & Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: Early parenting precursors of young children's executive

- functioning. *Child Development*, *81*, 326-339. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x>
- Brooks, B. L., Sherman, E. M. S., Iverson, G. L., Slick, D. J., & Strauss, E. (2011). Psychometric foundations for the interpretation of neuropsychological test results. *The Little Black Book of Neuropsychology: A Syndrome-Based Approach*, 893-922. https://doi.org/10.1007/978-0-387-76978-3_31
- Brydges, C. R., Reid, C. L., Fox, A. M., & Anderson, M. (2012). A unitary executive function predicts intelligence in children. *Intelligence*, *40*, 458-469. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.05.006>
- Burgess, P., & Shallice, T. (1996). Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, *34*, 263-272. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00104-2](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00104-2)
- Burgess, P. et Shallice, T. (1997). The hayling and brixton tests.
- Calvo, A., & Bialystok, E. (2014). Independent effects of bilingualism and socioeconomic status on language ability and executive functioning. *Cognition*, *130*, 278-288. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.11.015>
- Canet Juric, L., Laura Andrés, M., Graziella Mascarello, S. D., & Burin, D. (2015). Role of inhibitory functions in working memory: Evidence in children and adolescents. *Pensamiento Psicológico*, *13*, 109-121. <https://doi.org/10.11144/JAVERIANACALI.PPSI13-2.RFIM>
- Clark, C., Prior, M., & Kinsella, G. J. (2000). Do executive function deficits differentiate between adolescents with ADHD and oppositional defiant/conduct Disorder? A neuropsychological study using the Six Elements Test and Hayling Sentence Completion Test. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *28*, 403-414. <https://doi.org/10.1023/a:1005176320912>
- Colombo, F., Amieva, H., Lecerf, T., & Verdon, V. (2016). La norme en neuropsychologie, un concept à facettes multiples. *Revue de neuropsychologie*, *8*, 61-69. <https://doi.org/10.1684/nrp.2016.0365>
- Culbertson, W., Zillmer, E., Panchal, P., & Giordano, H. (1997). Preliminary childhood norms for the TOLDX. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *4*, 304-305. <https://doi.org/10.1093/arclin/12.4.304>
- Culbertson, W. C., & Zillmer, E. (2001). Tower of London-Drexel University (TOLDX). Multi-Health Systems.
- de Sousa Siqueira, L., Scherer, L. C., Reppold, C. T., & Fonseca, R. P. (2010). Hayling Test - adult version: Applicability in the assessment of executive functions in children. *Psychology & Neuroscience*, *3*, 189-194. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2010.2.008>
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). Delis-Kaplan executive function system: Technical manual: Psychological Corporation.
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change*, *210*, 70-95. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195169539.003.0006>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Disselhoff, V., Jakab, A., Schnider, B., Latal, B., Wehrle, F., & Haggmann, C. (2020). Inhibition is associated with whole-brain structural brain connectivity on network level in school-aged children born very preterm and at term. *Neuroimage*, 116937. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116937>
- Duckworth, A. L., & Kern, M. L. (2011). A meta-analysis of the convergent validity of self-control measures. *Journal of research in personality*, *45*, 259-268. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2011.02.004>
- DuPaul, G. J., Power, T. J., Anastopoulos, A. D., & Reid, R. (1998). ADHD Rating Scale—IV: Checklists, norms, and clinical interpretation. Guilford Press.
- Engel de Abreu, P. M., Abreu, N., Nikaedo, C. C., Puglisi, M. L., Tourinho, C. J., Miranda, M. C., Befi-Lopes, D. M., Bueno, O. F., & Martin, R. (2014). Executive functioning and reading achievement in school: A study of Brazilian children assessed by their teachers as “poor readers”. *Frontiers in Psychology*, *5*, 550. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00550>
- Er-Rafiqi, M., Roukoz, C., Le Gall, D., & Roy, A. (2017). Executive functions in children: Development, cultural influences and clinical perspectives. *Revue de neuropsychologie*, *9*, 27-34. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Farah, M. J., Shera, D. M., Savage, J. H., Betancourt, L., Giannetta, J. M., Brodsky, N. L., Malmud, E. K., & Hurt, H. (2006). Childhood poverty: Specific associations with neurocognitive development. *Brain research*, *1110*, 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.06.072>
- Fasfous, A. F., Hidalgo-Ruzzante, N., Vilar-López, R., Catena-Martínez, A., & Pérez-García, M. (2013). Cultural differences in neuropsychological abilities required to perform intelligence tasks. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *28*, 784-790. <https://doi.org/10.1093/arclin/act074>
- Fernandez, A. L., & Marcopulos, B. A. (2008). A comparison of normative data for the Trail Making Test from several countries: Equivalence of norms and considerations for interpretation. *Scandinavian journal of psychology*, *49*, 239-246. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2008.00637.x>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of*

- Experimental Psychology: General*, 133, 101-135. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17, 172-179. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137, 201-225. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>
- Goodwin, L. D., & Leech, N. L. (2006). Understanding correlation: Factors that affect the size of r . *The Journal of Experimental Education*, 74, 249-266. <https://doi.org/10.3200/JEXE.74.3.249-266>
- Hallit, S., Boutros, S., Hachem, E., Matar, J., & Matar, H. (2020). Arabic version of the Hayling sentence completion test: Validation and factors associated with executive functions in a sample of the Lebanese adults. *Research Square*, 1-24. <https://doi.org/10.21203/rs.2.21399/v1>
- Happé, F., Booth, R., Charlton, R., & Hughes, C. (2006). Executive function deficits in autism spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder: Examining profiles across domains and ages. *Brain and Cognition*, 61, 25-39. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.03.004>
- Hartung, J., Engelhardt, L. E., Thibodeaux, M. L., Harden, K. P., & Tucker-Drob, E. M. (2020). Developmental transformations in the structure of executive functions. *Journal of experimental child psychology*, 189, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104681>
- Hemphill, J. F. (2003). Interpreting the magnitudes of correlation coefficients. *American Psychologist*, 58, 78-79. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.58.1.78>
- Hosenbocus, S., & Chahal, R. (2012). A review of executive function deficits and pharmacological management in children and adolescents. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 21, 223. <https://doi.org/PMC3413474>
- Jacobs, R., & Anderson, V. (2002). Planning and problem solving skills following focal frontal brain lesions in childhood: Analysis using the Tower of London. *Child Neuropsychology*, 8, 93-106. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.93.8726>
- Jacobsen, G. M., de Mello, C. M., Kochhann, R., & Fonseca, R. P. (2017). Executive functions in school-age children: Influence of age, gender, school type and parental education. *Applied Cognitive Psychology*, 31, 404-413. <https://doi.org/10.1002/acp.3338>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15, 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Lawson, G. M., Hook, C. J., Hackman, D. A., Farah, M. J., Griffin, J. A., Freund, L. S., & McCardle, P. (in press). Socioeconomic status and neurocognitive development: Executive function. In Griffin, J., McCardle, P., Freund, L. (Eds.), *Executive Function in Preschool Age Children: Integrating Measurement*. Neurodevelopment and Translational Research.
- Lambek, R., & Shevlin, M. (2011). Working memory and response inhibition in children and adolescents: Age and organization issues. *Scandinavian journal of psychology*, 52, 427-432. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2011.00899.x>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development*, 84, 1933-1953. <https://doi.org/10.1111/cdev.12096>
- Lee, H. W., Lo, Y.-H., Li, K.-H., Sung, W.-S., & Juan, C.-H. (2015). The relationship between the development of response inhibition and intelligence in preschool children. *Frontiers in psychology*, 6, 802. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00802>
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Martin, A., Barker, M., Gibson, E., & Robinson, G. (2019). Response initiation and inhibition and the relationship with fluid intelligence across the adult lifespan. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 36, 231-242. <https://doi.org/10.1093/arclin/acz044>
- Mezzacappa, E. (2004). Alerting, orienting, and executive attention: Developmental properties and sociodemographic correlates in an epidemiological sample of young, urban children. *Child Development*, 75, 1373-1386. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2004.00746.x>
- Miller, D. (2010). How to report and interpret the NEPSY-II scores within a school neuropsychological framework. *Nepsy-II*, 1-25. <https://www.txasp.org/assets/conference-materials/2015/nepsy2interpretguide3.pdf>
- Miller, M. R., Giesbrecht, G. F., Müller, U., McInerney, R. J., & Kerns, K. A. (2012). A latent variable approach to determining the structure of executive function in preschool children. *Journal of Cognition and Development*, 13, 395-423. <https://doi.org/10.1080/15248372.2011.585478>
- Mistry, R. S., Biesanz, J. C., Chien, N., Howes, C., & Benner, A. D. (2008). Socioeconomic status,

- parental investments, and the cognitive and behavioral outcomes of low-income children from immigrant and native households. *Early Childhood Research Quarterly*, *23*, 193-212. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2008.01.002>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, *21*, 8-14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B. W., Ross, S., Sears, M. R., Thomson, W. M., & Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*, 2693-2698. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010076108>
- Monette, S., Bigras, M., & Lafrenière, M.-A. (2015). Structure of executive functions in typically developing kindergarteners. *Journal of Experimental Child Psychology*, *140*, 120-139. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.07.005>
- Monnier, C., & Bayard, S. (2017). Adaptation et validation française du test de Hayling pour des enfants d'âge scolaire. <https://www.researchgate.net/publication/317769293>
Adaptation_et_validation_francaise_du_test_de_Hayling_pour_des_enfants_d'age_scolaire
- Morand-Beaulieu, S., Grot, S., Lavoie, J., Leclerc, J. B., Luck, D., & Lavoie, M. E. (2017). The puzzling question of inhibitory control in Tourette syndrome: A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *80*, 240-262. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.05.006>
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, *126*, 220-246. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.220>
- Noble, K. G., McCandliss, B. D., & Farah, M. J. (2007). Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities. *Developmental Science*, *10*, 464-480. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00600.x>
- Olson, K., & Jacobson, K. (2015). Cross-cultural considerations in pediatric neuropsychology: A review and call to attention. *Applied Neuropsychology: Child*, *4*, 166-177. <https://doi.org/10.1080/21622965.2013.830258>
- Palladino, P., & Ferrari, M. (2013). Interference control in working memory: Comparing groups of children with atypical development. *Child Neuropsychology*, *19*, 37-54. <https://doi.org/10.1080/09297049.2011.633505>
- Pappas, D. (2006). ADHD Rating Scale-IV: Checklists, norms, and clinical interpretation. *Journal of psychoeducational assessment*, *24*, 172-178. <https://doi.org/10.1177/0734282905285792>
- Pérez-Pérez, A., Matias-Guiu, J. A., Cáceres-Guillén, I., Rognoni, T., Valles-Salgado, M., Fernández-Matarrubia, M., Moreno-Ramos, T., & Matias-Guiu, J. (2016). The Hayling Test: Development and normalization of the Spanish version. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *31*, 411-419. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw027>
- Perret, E. (1974). The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behaviour. *Neuropsychologia*, *12*, 323-330. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(74\)90047-5](https://doi.org/10.1016/0028-3932(74)90047-5)
- Peterson, R. A. (1995). Une méta-analyse du coefficient alpha de Cronbach. *Recherche et Applications en Marketing (French Edition)*, *10*, 75-88. <https://doi.org/10.1177/076737019501000204>
- Pievsky, M. A., & McGrath, R. E. (2018). The neurocognitive profile of attention-deficit/hyperactivity disorder: A review of meta-analyses. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *33*, 143-157. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx055>
- Pureza, J. R., Gonçalves, H. A., Branco, L., Grassi-Oliveira, R., & Paz Fonseca, R. (2013). Executive functions in late childhood: Age differences among groups. *Psychology and Neuroscience*, *6*, 79-88. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2013.1.12>
- Pureza, J. R., Jacobsen, G. M., Oliveira, R. G., & Fonseca, R. P. (2011). Relationships between executive functions tasks in late childhood. *Psychology and Neuroscience*, *4*, 369-376. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2011.3.010>
- Rahmi, I., & Wimbarti, S. (2018). Inhibition in ADHD and non-ADHD children ages 6-12 years. *International Journal of Research Studies in Psychology*, *7*, 73-85. <https://doi.org/10.5861/ijrsp.2018.2008>
- Rhoades, B. L., Greenberg, M. T., & Domitrovich, C. E. (2009). The contribution of inhibitory control to preschoolers' social-emotional competence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *30*, 310-320. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2008.12.012>
- Rhoades, B. L., Greenberg, M. T., Lanza, S. T., & Blair, C. (2011). Demographic and familial predictors of early executive function development: Contribution of a person-centered perspective. *Journal of experimental child psychology*, *108*, 638-662. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.08.004>
- Robinson, G. A., Cipolotti, L., Walker, D. G., Biggs, V., Bozzali, M., & Shallice, T. (2015). Verbal

- suppression and strategy use: A role for the right lateral prefrontal cortex? *Brain*, *138*, 1084-1096. <https://doi.org/10.1093/brain/awv003>
- Sarsour, K., Sheridan, M., Jutte, D., Nuru-Jeter, A., Hinshaw, S., & Boyce, W. T. (2011). Family socioeconomic status and child executive functions: The roles of language, home environment, and single parenthood. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*, 120-132. <https://doi.org/10.1017/S1355617710001335>
- Sartori, R. F., Valentini, N. C., & Fonseca, R. P. (2020). Executive function in children with and without developmental coordination disorder: A comparative study. *Child: Care, Health and Development*, *46*, 294-302. <https://doi.org/10.1111/cch.12734>
- Saunders, B., Milyavskaya, M., Etz, A., Randles, D., & Inzlicht, M. (2018). Reported self-control is not meaningfully associated with inhibition-related executive function: A Bayesian analysis. *Collabra: Psychology*, *4*, 39. <https://doi.org/10.1080/00207594.2010.499949>
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, *298*, 199-209. <https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shallice, T., Marzocchi, G. M., Coser, S., Del Savio, M., Meuter, R. F., & Rumiat, R. I. (2002). Executive function profile of children with attention deficit hyperactivity disorder. *Developmental Neuropsychology*, *21*, 43-71. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2101_3
- Sheng, Y., & Sheng, Z. (2012). Is coefficient alpha robust to non-normal data? *Frontiers in psychology*, *3*, 34. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00034>
- Sinopoli, K. J., & Dennis, M. (2012). Inhibitory control after traumatic brain injury in children. *International Journal of Developmental Neuroscience*, *30*, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2011.08.006>
- Siqueira, L. d. S., Gonçalves, H. A., Hübner, L. C., & Fonseca, R. P. (2016). Development of the Brazilian version of the Child Hayling Test. *Trends in Psychiatry and Psychotherapy*, *38*, 164-174. <https://doi.org/10.1590/2237-6089-2016-0019>
- Soto, E. F., Kofler, M. J., Singh, L. J., Wells, E. L., Irwin, L. N., Groves, N. B., & Miller, C. E. (2020). Executive functioning rating scales: Ecologically valid or construct invalid? *Neuropsychology*, *34*, 605-619. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/neu0000681>
- Spitoni, G. F., Bevacqua, S., Cerini, C., Ciurli, P., Piccardi, L., Guariglia, P., Pezzuti, L., & Antonucci, G. (2017). Normative data for the Hayling and Brixton tests in an Italian population. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *33*, 466-476. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx072>
- Stedal, K., Rose, M., Jonsson, R., Harvey, L., & Lask, B. (2016). Female adolescents' performance on the Hayling Test. *Psychology and Neuroscience*, *9*, 255-266. <https://doi.org/10.1037/pne0000056>
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. American Chemical Society.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2013). Practitioner review: Do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *54*, 131-143. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12001>
- Vestberg, S., Nordström, E. B., Waldö, M. L., Nilsson, K., Santillo, A. F., & Nilsson, C. (2019). Swedish version of the Hayling test: Clinical utility in frontotemporal dementia syndromes. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *25*, 195-203. <https://doi.org/10.1017/S1355617718001030>
- Volle, E., de Lacy Costello, A., Coates, L. M., McGuire, C., Towgood, K., Gilbert, S., Kinkingnehun, S., McNeil, J. E., Greenwood, R., & Papps, B. (2012). Dissociation between verbal response initiation and suppression after prefrontal lesions. *Cerebral Cortex*, *22*, 2428-2440. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr322>
- Wechsler, D. (2015). *Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants – cinquième édition : version francophone du Canada (WISC-V CDN-F)*. Pearson Canada Assessment, Inc.
- Wechsler, D., Kaplan, E., Fein, D., Kramer, J., Morris, R., Delis, D., & Maerlander, A. (2004). *WISC-IV Integrated*. Wechsler Intelligence Scale for Children.

Received March 20, 2021

Revision received May 2, 2021

Accepted October 7, 2021 ■

Séquelles cognitives, physiques et psychopathologiques à long terme de multiples commotions cérébrales : illustration par l'évaluation et la prise en charge d'un hockeyeur semi-professionnel

Catia Beni¹, Ph. D.

¹Département des neurosciences et sciences du mouvement. Université de Fribourg, Suisse.

Dans la pratique du hockey sur glace, les commotions cérébrales à répétition sont malheureusement fréquentes et provoquent une cascade de conséquences, qu'elles soient scolaires ou professionnelles (c.-à-d., arrêts, absences), sportives (c.-à-d., baisse des performances, fin de carrière) ou médicales (p. ex., présence de symptômes à long terme). Il existe très peu d'articles qui documentent de manière clinique les prises en charge et les séquelles cognitives, physiques et psychopathologiques de commotions cérébrales à répétition. L'objectif de ce chapitre est double. Tout d'abord, après avoir fourni un peu de théorie des connaissances actuelles sur les commotions cérébrales, les éléments de la prise en charge qui ont été entrepris avec un hockeyeur semi-professionnel ayant subi de nombreuses commotions cérébrales seront exposés, à savoir l'aide dans la diminution des symptômes post-commotionnels et dans l'acceptation de mettre un terme à la carrière de hockeyeur. Deuxièmement, il montrera les performances cognitives de cet athlète sportif, 11 mois après sa dernière commotion cérébrale.

Mots-clés : commotion cérébrale à répétition, hockey sur glace, séquelles à long terme, bilan neuropsychologique, prise en charge cognitive comportementale

In the practice of ice hockey, recurrent concussions are unfortunately frequent and cause a cascade of consequences, whether they are academic or professional (i.e., stops, absences), sportive (i.e., decrease in performances, end of career) or medical (e.g., long-term symptoms). In the literature, there are very few articles that clinically document the cognitive, behavioral and emotional management and sequelae of recurrent concussions. The purpose of this chapter is twofold. First, after providing a little theory of current knowledge about concussions, the elements of management that has been undertaken with a semi-professional hockey player, who has suffered many concussions will be exposed, namely the help in the reduction of post-concussive symptoms and the help provided in the acceptance to put an end to the hockey career. Second, it will show the cognitive performance of this sportsman, 11 months after his latest concussion.

Keywords: recurrent concussion, ice hockey, long-term sequelae, neuropsychological assessment, cognitive behavioral management

Définition du sujet de recherche

Les commotions cérébrales (CC) dans le sport touchent de nombreux sportifs, que ce soit des enfants, des adolescents ou des adultes, des professionnels ou des amateurs, en match ou en entraînement (Harmon et al., 2013). Depuis quelques années maintenant, les CC sont au centre des préoccupations médicales dans le sport, notamment en raison d'une plus forte sensibilisation à la possibilité de séquelles à long terme.

Une CC est un traumatisme crânio-cérébral léger. Le mot CC est surtout employé dans le contexte du

sport, mais le terme médical est traumatisme crânien léger (TCL). C'est un processus physiopathologique complexe touchant le cerveau, qui entraîne rapidement une brève altération de la fonction neurologique (McCroory et al., 2017); à la suite d'un coup direct donné à la tête, au visage, à la nuque; ou à la suite d'un coup au corps dont la force se répercute jusqu'à la tête et entraîne un mouvement rapide du cerveau. À cela peuvent s'ajouter des mécanismes de coup – contre coup, mais aussi des mécanismes rotatoires (Purcell, 2014). Comme c'est une atteinte fonctionnelle du cerveau et non une atteinte structurelle, 79 % des scanners cérébraux et 75 % des imageries par résonance magnétique (IRM) cérébrales ne montrent aucune lésion (Ellis et al., 2015). Les méthodes plus modernes comme l'imagerie du tenseur de diffusion apportent de meilleures informations, mais elles ne sont aujourd'hui utilisées

La correspondance concernant cet article doit être adressée à /
Correspondence concerning this article should be addressed to/

Catia Beni., Département des neurosciences et sciences du mouvement, Université de Fribourg

Courriel/e-mail: catia.beni@fsp-hin.ch

qu'en recherche (Shenton et al., 2018). Une CC peut survenir dans la pratique sportive, mais également dans n'importe quel contexte de vie (p. ex., accident domestique ou accident de la voie publique). Certains sports sont naturellement plus à risque que d'autres de séquelles à long terme, comme le hockey sur glace, la boxe, le football américain et le rugby (Harmon et al., 2013).

Au lieu de parler de CC légère ou CC sévère, termes souvent liés à la gravité du choc et/ou à la présence d'une perte de connaissance, il est aujourd'hui plus juste d'évoquer la CC sous un angle de séquelles et de durée de récupération, car même des chocs légers peuvent parfois déclencher des conséquences majeures. Dans ce contexte, les CC dites simples représentent 80 à 90 % des CC diagnostiquées. Elles se résolvent généralement dans les 7 à 10 jours, au maximum dans le mois, avec une certaine hétérogénéité (Castile et al., 2012). Puis, les CC dites complexes ou à évolution lente sont une petite minorité de CC (c.-à-d., 10 à 15 %). Des séquelles persistent au-delà de 7 à 10 jours. Le blessé peut présenter alors un syndrome post-commotionnel (SPC). Selon la définition de la CIM-10 (2009) sous le code F07.2, le SPC correspond à des symptômes physiques, cognitifs et psychologiques, associés à des déficits cognitifs consécutifs persistants, à la suite d'un traumatisme crânien. Ces symptômes peuvent perturber le fonctionnement social, familial, professionnel et/ou scolaire de la personne au quotidien. Dans certains cas, cela implique la nécessité de stopper l'activité sportive, mais aussi l'activité scolaire ou professionnelle (Castile et al., 2012). Tator et ses collaborateurs (2016) ont montré que lors d'un SPC, les séquelles à long terme ont une médiane à sept mois, mais peuvent dans certains cas perdurer à vie. Ces auteurs ont également montré que ce syndrome se diagnostique normalement après plusieurs CC, mais dans 23,1 %, un SPC survient après la première CC. Le nombre moyen de symptômes persistants est de 8,1. Lors de séquelles plus importantes, le syndrome du second impact (c.-à-d., un gonflement cérébral diffus; McCrory et al., 2012) ou l'encéphalopathie chronique traumatique sont des entités médicales qui apportent des séquelles majeures et handicapantes et sont une préoccupation majeure (Manley et al., 2017; Mez et al., 2017).

La gestion des CC et des séquelles est ici le cœur du problème. De nombreuses fédérations sportives ont établi un protocole strict de retour au sport afin de gérer la récupération post-commotionnelle et diminuer le risque de séquelles à long terme. Ce protocole est globalement efficace dans le cadre des CC simples, car après un temps de repos de 24 à 48 heures, il propose une reprise graduelle des activités en tenant compte de la présence ou non de symptômes. En

médecine du sport, pour évaluer ces symptômes, le Grade Symptom Checklist (GSC), la seconde partie de l'outil *Sport Concussion Assessment Tool*, est largement utilisé. Il est composé de 22 questions auto-évaluatives, évaluées par une échelle de Likert en sept points et qui répertorie les symptômes post-commotionnels classiques en lien avec une atteinte cervicale, une atteinte vestibulo-oculaire, une atteinte cognitive, des manifestations anxio-dépressives ou comportementales ou encore des troubles du sommeil. Ces symptômes sont : le mal de tête, la pression dans le crâne, les douleurs au cou, les nausées, l'étourdissement, la vision trouble, les problèmes d'équilibre, l'hypersensibilité au bruit ou à la lumière, la sensation d'être ralenti, d'être dans le brouillard, le sentiment d'anomalie, le manque de concentration, les troubles de mémoire, la confusion, l'émotivité accrue, l'irritabilité, la tristesse, la nervosité, les difficultés d'endormissement, la fatigue et la somnolence. Dès lors que le score au GSC est plus petit que 15 (c.-à-d., en moyenne, car le score varie selon l'âge et le sexe; ImPACT Applications, 2020), une planification des activités est établie, en précisant la durée, la fréquence et l'intensité de chaque activité (Howell et al., 2018). Puis, le Sport Concussion in Sport Group a établi en 2001 un protocole de retour au jeu en six étapes (McCrory et al., 2017). Il permet une reprise graduelle de l'activité sportive, allant du repos à la reprise complète de la compétition. Cette méthode est efficace pour un sportif qui présente une CC à évolution simple ou sans antécédent de CC, mais elle est clairement insuffisante pour des CC à évolution lente ou lors de multiples CC.

Il n'existe que peu de documents dans la littérature qui présente les prises en charge de ces problématiques complexes. En outre, il a été démontré que 49 % des médecins de famille, 52 % des médecins d'urgence et 27 % des pédiatres ont déclaré n'avoir aucune idée des critères consensuels concernant la gestion des CC (Stoller et al., 2014). Enfin, les médecins des centres d'urgences dispensent quelques conseils classiques généraux, mais ces derniers ne sont clairement pas suffisants. En revanche, plus récemment, Beni (2019) présente la prise en charge d'un jeune joueur de rugby commotionné. Elle y propose plusieurs pistes pratico-pratiques de prises en charge individualisées, en mentionnant par exemple quelques règles d'or dans cette prise en charge (Beni, 2019). Ces règles d'or peuvent se résumer ainsi : a) être un patient patient; b) faire peu, se reposer beaucoup; c) maximiser ce qui fait du bien, minimiser ce qui fait du mal; d) la blessure est une opportunité; e) l'intensité ou durée ou fréquence; f) s'arrêter avant; g) tout fatigue; h) ne rien faire, c'est prendre soin de soi; i) éviter ou bannir les écrans; et j) être bien entouré. Ces règles d'or sont travaillées et explicitées en fonction des besoins de la personne. Les

explications doivent être claires et détaillées et il peut être utile de s'aider de dessins ou de schémas. Cela permet de favoriser la compréhension, d'augmenter le niveau de concentration et de varier les sources d'encodage d'une information, principe capital de la rééducation en neuropsychologie.

Revue de la littérature

Pendant longtemps, le diagnostic de CC était posé uniquement si une perte de connaissance avait lieu. Aujourd'hui, des études montrent que seuls 5 à 9 % des athlètes perdent connaissance lors d'une CC (Castile et al., 2012). Malheureusement, encore trop fréquemment, et cela même dans les centres d'urgence, la gravité ou même le diagnostic n'est posé que s'il y a perte de connaissance. Cela est regrettable, car il a été démontré que l'amnésie circonstancielle est un meilleur indicateur de gravité ou de la présence d'une CC, que la perte de connaissance : plus l'amnésie circonstancielle est longue, plus les séquelles sont importantes et la récupération plus longue (Tator et al., 2016).

Les séquelles à la suite d'une CC peuvent être multiples, variées et différentes pour chaque individu et pour chaque CC. Il existe des séquelles à court, moyen et long terme. À court et moyen terme, les études sont majoritairement en accord sur la présence de séquelles, bien que certaines études plaident l'absence de séquelles. Ces études sont discutables sur le plan de la méthodologie employée (p. ex., échantillon petit ou hétérogène, délai depuis la commotion non contrôlée, études se basant sur le test *Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Testing* pour établir la présence de troubles; Brooks et al., 2016). Quatre types de problèmes sont classiquement évoqués : 1) les symptômes physiques (p. ex., maux de tête, nausées, vertiges, troubles visuels, photo et phono phobie, perte de conscience, perte d'équilibre); 2) les changements de comportement (p. ex., irritabilité, labilité émotionnelle, tristesse, anxiété et émotions inadéquates); 3) les troubles cognitifs (p. ex., ralentissement, difficultés de concentration et de mémoire); et 4) les troubles du sommeil (p. ex., somnolence, difficultés d'endormissement, hyper ou hyposomnie, insomnie; Purcell, 2014; McCrory et al., 2017). Ces séquelles peuvent subsister à court, moyen et long terme (Tator et al., 2016). Les trois séquelles les plus fréquemment reportées par les sportifs sont les maux de tête (85,5 %), les étourdissements (64,4 %) et les troubles de la concentration (47,8 %; Castile et al., 2012). La perte de connaissance n'est mentionnée que dans 10 % des cas (Mansell et al., 2010). Les séquelles sont variées et une prise en charge adéquate est donc nécessaire.

Objectifs

Les séquelles à long terme des CC sont une forte préoccupation pour les neuropsychologues et pour les professionnels de la santé qui travaillent dans le milieu du sport de contact. En effet, ces séquelles restent encore peu prises en charge, notamment pour des raisons financières de la part de certaines fédérations sportives, mais aussi de la part des assurances. Naturellement, tout cela questionne sur les aspects éthiques à vouloir banaliser ou minimiser les conséquences, très souvent invalidantes (Gillett, 2018).

Les objectifs de ce chapitre sont multiples. La présentation du cas FB permettra tout d'abord de montrer les données de séquelles cognitives, physiques et psychopathologiques à long terme d'un joueur de hockey sur glace, qui a subi de nombreuses CC cérébrales mal soignées. Mais, cela permettra également de donner des éléments de prise en charge des troubles spécifiques de ce sportif, en intégrant à la fois des techniques neuropsychologiques, mais aussi des techniques issues des thérapies cognitivo-comportementales. Cette étude de cas est originale et inédite, car la littérature foisonne d'articles qui analysent des données de groupes sur les séquelles post-commotionnelles, mais que très rarement des données issues d'un cas unique. Cela d'autant plus que cette étude de cas aborde autant la partie de l'évaluation que de la prise en charge. Ensuite, et l'intérêt est encore plus important, il n'existe pas d'articles ou de chapitres traitant de la prise en charge des séquelles post-commotionnelles à long terme. Cette dernière partie est particulièrement utile pour les professionnels engagés dans le milieu du sport, car des conseils, des outils et des méthodes très pratiques et pragmatiques sont proposés, ce qui habituellement fait défaut dans les publications qui ne donnent que des conseils très généraux.

Méthodologie

Éthique et confidentialité

FB est venu consulter en cherchant de l'aide et des réponses, à la suite de ses plaintes en lien avec ses nombreuses CC. Très rapidement, il est apparu que sa situation n'était de loin pas inédite et qu'il fallait que sa mauvaise expérience puisse servir à documenter les erreurs de prise en charge, encore très fréquentes dans le milieu du hockey sur glace, mais également dans tous les milieux sportifs à risque de CC. Il lui a été proposé d'écrire son histoire sous un regard neuropsychologique et scientifique et il a, sans hésiter, donné son accord oral et écrit. Il lui a naturellement été garanti l'anonymat et que l'écrit était soumis aux règles éthiques et déontologiques imposées par la Fédération Suisse des Psychologues. Il a lu le contenu

de cet article avant sa première soumission et il l'a validé.

Présentation détaillée du cas

FB est âgé de 29 ans au moment de sa première consultation. C'est un défenseur au hockey sur glace, en ligue mineure, mais qui par le passé a joué dans une ligue professionnelle et aussi dans une équipe nationale. FB est de langue maternelle française et hongroise. Après l'école obligatoire, il s'est inscrit à l'université, mais il a dû arrêter en raison de ses symptômes post-commotionnels. Environ deux à trois ans après, il s'est inscrit à nouveau à l'université en économie et il a obtenu un baccalauréat. Il a également terminé un master en ressources humaines. Au moment de l'évaluation, il venait de terminer un stage en ressources humaines. Hormis ses troubles en lien avec les CC, FB est en bonne santé et ne présente pas d'autres difficultés.

L'historique des différents chocs subis par FB a été répertorié sur la base de ses souvenirs. Le jour J représente la date de sa première consultation. Les dates sont transcrites sur cette base.

Jour J – 10 ans. Lors d'un match, dans une équipe de ligue A, il a été victime d'un traumatisme crânio-cérébral (TCC). Une perte de connaissance, d'une durée indéterminée, est présente, ainsi qu'une amnésie circonstancielle. Son dernier souvenir est environ deux à trois heures avant le choc et son premier souvenir après le choc est dans l'ambulance. Il a été hospitalisé une nuit. Il a eu de la peine à aller mieux et ce n'est que quelques semaines plus tard qu'il a consulté un neurologue, qui lui fait différents examens. Selon ses souvenirs, une imagerie cérébrale a mis en évidence un saignement sur la partie avant du cerveau. Après deux à trois semaines, il a repris le sport, alors qu'il présentait encore de nombreux symptômes (c.-à-d., absences, problèmes de concentration, hypersensibilité à la lumière, importants problèmes de lecture, ralentissement). Sur le plan émotionnel, il était plus triste et il présentait des sautes d'humeur nécessitant des consultations auprès d'un psychiatre. En parallèle, il a vu ses performances chuter au hockey et il a raté la qualification pour les championnats du monde. Sur le plan scolaire, il a arrêté l'université, car il n'arrivait pas à suivre.

Jour J – 8 ans. Nouveau choc lors d'un match. Depuis lors, sa santé physique est très fragile. Il a continué à jouer et la moindre charge le faisait retomber dans les symptômes. Du coup, durant une saison entière, il jouait, prenait un coup et s'arrêtait environ deux semaines, rejouait, etc. Il était lent et il avait des vertiges. Il a fini difficilement ses études de baccalauréat, car il avait de la peine à suivre et il devait travailler énormément en raison des problèmes de concentration et de saccades oculaires.

Entre Jour J – 4 ans et Jour J – 2 ans. Il a arrêté complètement le hockey, ce qui a permis d'apporter une nette diminution des symptômes. En revanche, sur le plan émotionnel, il présentait de nombreuses difficultés, notamment car il n'avait pas été accompagné dans l'arrêt du hockey. Il est tombé alors en forte dépression et il a eu un suivi psychothérapeutique durant plusieurs mois.

Jour J – 3 mois. Il a repris le hockey en ligue mineure et lors d'un match, il a reçu une charge relativement violente à la tête. Il s'est arrêté quelques jours, puis il a repris pour environ 10 matchs, avant de reprendre un choc. Ce dernier choc a nécessité un nouvel arrêt et notre première consultation le jour J.

Jour J. FB consulte en urgence en neuropsychologie quelques semaines après sa énième commotion cérébrale. Une prise en charge a été conduite. Puis, compte tenu de ses nombreuses commotions cérébrales, un bilan neuropsychologique complet à distance de la dernière CC, soit 11 mois plus tard, a été réalisé, afin de mesurer les séquelles à long terme.

Jour J + 8 mois. Une consultation auprès d'un médecin psychiatre, conclut que FB souffre d'un Trouble bipolaire type I.

Jour J + 11 mois. Un IRM cérébrale a démontré une séquelle hémorragique frontale gauche de 3mm sur le plan antéro-postérieur.

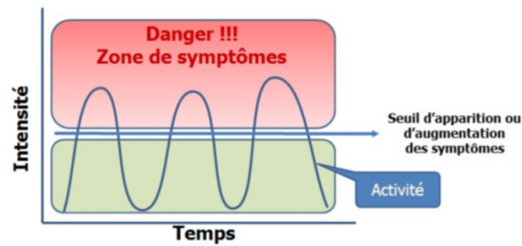
Prise en charge

Les aspects de la prise en charge vont être expliqués et détaillés, en fournissant des outils spécifiques à la problématique de FB. Par souci de clarté et de fluidité des propos, il est apparu peu utile de lister ici le contenu des séances en détail, étant donné que certains propos ont été abordés à la première séance, repris à la 3^e ou à la 5^e séance, etc., cela en fonction des plaintes de FB. Dans toute prise en charge, chaque propos avancé doit être repris lors des séances suivantes, afin de vérifier sa compréhension et son application. Les troubles de mémoire et d'attention étant fréquents à la suite d'un TCL, cela permet aussi de vérifier le risque d'oubli de la discussion ou des conseils apportés et leur compréhension. En revanche, il n'y a pas un guidage strict du déroulement d'une séance, étant donné que le travail se fait sur la base de ce que la personne apporte et que chaque être humain va apporter sa problématique et son histoire de vie. L'aspect individualisé et la vision intégrative d'une prise en charge prennent ici tout leur sens (Van der Linden, 2018). Il est en revanche primordial de fournir lors de la première séance la notion du seuil des symptômes (cf. Figure 1). Par expérience, plus le sportif reçoit les bonnes informations de manière précoce à la suite de

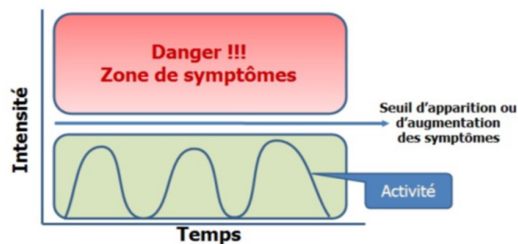
Figure 1

Variation des symptômes en fonction du temps et de l'intensité

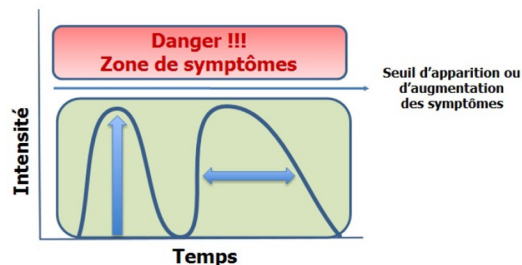
1. Augmentation des symptômes lors d'activités physiques ou mentales au-dessus du seuil des symptômes



2. Stabilisation de l'état, en respectant le seuil des symptômes



3. Possibilité d'augmenter les activités dans la durée ou dans l'intensité



la blessure, plus la récupération sera positive, car il appliquera dès le départ des stratégies correctes. Le bénéfice substantiel de la psychoéducation dans la récupération est aujourd'hui largement admis; il s'agit d'expliquer les troubles, leur action, leur influence, comment y faire face, etc. (Mittenberg et al., 1996).

Les plaintes et les symptômes. L'anamnèse reste un point central de toutes prises en charge. Avec FB, plusieurs aspects ont été répertoriés : 1) les facteurs personnels; 2) les aspects cliniques et médicaux de la CC; 3) les aspects psychologiques; 4) les aspects comportementaux¹; 5) les antécédents médicaux personnels; 6) l'hygiène de vie; 7) la consommation de substances psychoactives; 8) la situation d'accident; 9) le contexte de l'activité sportive; et 10) les facteurs environnementaux (cf. Beni, 2019).

Ensuite, et cela de manière précise, les plaintes actuelles de FB ont été récoltées. Il s'est plaint de

vertige à l'effort et de troubles de la concentration au quotidien et pour quasi tout type de tâches mentales. Il a relevé d'importants maux de tête et des troubles du sommeil. Sur demande spécifique, il a évoqué de nombreux oublis au quotidien. Sur le plan visuel, il avait toujours des problèmes de saccades. Il était sous stress permanent, avec un sentiment de mal être général. Il était agité et nerveux. Une évolution négative générale a été constatée, raison pour laquelle il a demandé de l'aide.

Il est alors important de savoir comment ces plaintes ont évoluées, entre le jour de l'accident et le jour de l'anamnèse. En parallèle, une liste des symptômes classiquement présents à la suite d'une CC est complétée (cf. Annexe A). Ce tableau est nettement plus complet que le GSC et FB l'a rempli en indiquant l'intensité de ses symptômes.

Rapidement FB a posé deux questions, questions récurrentes après un TCL : 1) « Combien de temps cela va prendre ? »; et 2) « Comment je peux guérir plus vite? ». Il faut répondre de manière transparente en expliquant que le délai de récupération n'est pas

¹Si besoin, l'Échelle des Changements de Comportement Socio-Emotionnel de Genève peut être administrée. Elle mesure les modifications du comportement après un traumatisme crânien (Beni et al., 2017).

connu, car il dépend de nombreux paramètres, certains que l'on maîtrise et d'autres pas. Dans ce que le blessé maîtrise, il y a le principe d'adhérence au traitement, c'est-à-dire, plus vite le blessé va comprendre et mettre adéquatement en pratique tout ce qui est expliqué en séance, plus il progressera dans les délais légitimes de récupération. Cela permet aussi de lui faire comprendre qu'il n'y a pas de moyen de « guérir plus vite », comme il le veut, mais par contre en appliquant de mauvaises stratégies ou en adoptant de mauvais comportements, le temps pour récupérer peut être plus long. Dans les éléments sans maîtrise, il y a notamment les événements de vie (p. ex., décès, maladie, pression du management). Dans le principe de transparence, qui est important pour établir une bonne alliance thérapeutique, il faut baliser le parcours de rééducation en expliquant les étapes possibles. Cela montre que si le délai de récupération n'est pas connu, la procédure et les comportements à adopter, pour favoriser cette récupération, sont eux connus.

Ceci fait, il faut ensuite absolument fournir des aides pratico-pratiques en lien avec la problématique personnelle. Dans le cas de FB, deux objectifs sont apparus assez clairement : 1) la gestion des symptômes post-commotionnels; et 2) l'accompagnement dans l'arrêt de la pratique du hockey.

La gestion des symptômes post-commotionnels.

En lien avec la problématique de FB, trois points sont au centre des discussions et des aides fournies. Tout d'abord et prioritairement, la notion du seuil des symptômes doit être abordée. Le seuil de symptômes, initialement tiré des propos du professeur Frémont de l'Université de Laval au Québec, se définit comme le niveau au-delà duquel l'intensité ou la durée d'un effort physique ou mental va développer des symptômes post-commotionnels et/ou les augmenter (cf. Figure 1; Beni, 2019; Frémont, 2017). Ensuite, l'importance du repos et du choix des activités doivent également être inculqués rapidement dans la prise en charge, de manière justement à ne pas franchir le seuil des symptômes.

L'importance du repos. Les praticiens conseillent de se reposer, sans plus de précision. Par expérience, le terme se reposer peut prendre des colorations différentes en fonctions de la personne. Certains comprendront une sieste, d'autres lire, d'autres regarder la télévision, d'autres plutôt regarder un mur blanc. Le repos, pour qu'il soit bénéfique dans une récupération post-commotionnelle doit être organisé et donc pleinement expliqué, calculé et mesuré dans ce qui va être fait, quand et comment. Le repos permet au cerveau de « travailler » sur la cascade de conséquences physiologiques et métaboliques à la suite d'une blessure à la tête, et non pas uniquement à la gestion des activités du quotidien, activités trop nombreuses en l'état.

La règle d'or « faire peu, se reposer beaucoup » est largement discutée avec FB. Aussi, puisque le repos ne peut être abordé sans aborder la notion de fatigue, une bonne partie des séances est dédiée à la discussion de ce phénomène en plus de fournir des outils à FB. Il est important d'expliquer au sportif que la fatigue est très fréquente après une CC dans le sport (Gosselin, 2009), mais également de manière plus générale à la suite d'un TCL, et ce même à long terme (Ma et al., 2019). Cette fatigue impacte de nombreux paramètres de la vie quotidienne (Fortier-Lebel & Dupont, 2019). Avec l'expérience clinique et afin de faciliter la compréhension du processus, j'ai imagé la résistance humaine avec l'idée que l'on possède trois piles. Cela s'explique de la manière suivante : chaque personne possède trois piles d'énergie, une pile qui fonctionne à court terme (CT), une pile qui fonctionne à moyen terme (MT) et une pile qui fonctionne à long terme (LT).

La pile à CT. Elle représente l'énergie de la journée. Techniquement, si la nuit de sommeil a été bonne, elle peut sans autre permettre de passer une bonne journée. Avec une fatigue normale de fin de journée, elle aura la nuit pour se recharger et permettre de gérer la journée suivante, etc. Si la nuit de sommeil n'est pas suffisante, on va puiser dans la pile à MT pour gérer sa journée. La pile à CT est celle qui varie le plus.

La pile à MT. Elle représente l'énergie de la semaine, qui va apporter une baisse de jour en jour, avec un vendredi qui est plus difficile et le besoin du week-end pour se recharger. Quand les semaines et week-ends ne permettent pas de se recharger suffisamment, on va puiser dans la pile à LT.

La pile à LT. Elle représente l'énergie sur plusieurs mois et qui fait que les vacances sont souvent les bienvenues après quelques mois d'activités. C'est la pile qui varie le moins et celle qui doit être la plus remplie, afin d'assurer une base stable, dans laquelle puiser, quand cela est nécessaire.

À la suite d'une lésion/blessure cérébrale, ces trois piles sont vides, car il a fallu puiser dans toutes les réserves à disposition pour gérer les séquelles cérébrales et toute la cascade de modifications physiologiques, métaboliques et cognitives qui en découlent². Comme elles sont vides, il n'y a quasi aucune marge de manœuvre et la personne ne vit que sur les réserves de la pile à CT, sous condition naturellement que la nuit de sommeil soit réparatrice. Comme cela est souvent l'inverse au début de la blessure, cela explique pourquoi les personnes ressentent une fatigue très importante, fréquente, et pour toutes activités de la vie quotidienne. Afin de rééquilibrer tout cela, la notion du repos devient alors capitale, pour permettre de remplir à nouveau les trois piles, mais surtout celle à LT qui représente la base de

stabilité. Comme mentionné plus haut, il ne suffit pas juste de dire « repose-toi ». Il faut détailler, expliquer, donner des exemples, voire même faire une planification stricte des activités et du repos (Beni, 2019). Naturellement, la qualité du sommeil est investiguée et le cas échéant traitée.

Les activités au quotidien. Si la fatigue est la plainte unique, une prise en charge ciblée sur cet aspect peut être conduite (Beni, 2010). Mais dans le cadre des CC, la fatigue n'est pas l'unique problème et d'autres symptômes sont présents tel qu'on peut l'observer à travers les plaintes rapportés par FB (cf. Annexe A). La problématique est alors élargie de manière à tenir compte de toute la symptomatologie. De ce fait, il faut travailler sur les activités du quotidien que FB peut réaliser, en tenant compte du seuil des symptômes. Pour ce faire, FB a rempli le Tableau 2 (cf. Annexe B). Ce tableau est composé de trois colonnes. En résumé, il est demandé à la personne de réfléchir aux activités de sa journée qui font augmenter ses symptômes celles qui font diminuer ses symptômes. Puis, en tenant compte de la description des piles ci-dessus, la personne pourra choisir son activité en fonction du coût qu'elle engendre. La colonne *activités qui diminuent les symptômes* est souvent difficile à remplir. La sieste ne pouvant pas être l'unique source de repos, il faut trouver comment s'occuper sans que cela vide sa pile. Chaque personne doit trouver ce qui la repose et/ou la ressourcent. Les sportifs manquent souvent d'idées à ce sujet, car le repos n'est pas tellement dans leurs habitudes de vie. Ainsi, des idées d'activités qui reposent/ressourcent/diminuent les symptômes ont été données à FB dont la sieste, la relaxation, la respiration, la cohérence cardiaque, la méditation, la sophrologie, un bain chaud ou une douche, écouter de la musique douce, boire une tisane calmante, s'occuper d'un animal, dessiner, vagabondage de pensées, regarder des photos (c.-à-d., si possible, pas devant un écran) et se rappeler les bons souvenirs associés. Dans les activités neutres, regarder un film connu, lire un livre déjà lu, lire une bande dessinée, faire du jardinage ainsi que cuisiner peuvent être proposées. Chaque individu étant différent dans l'expression de sa symptomatologie, la personne devra par elle-même créer sa propre liste, aussi sur la base de ce qu'elle aime faire.

Une fois ces trois colonnes remplies, afin de permettre le bon choix d'activités, deux autres images, à choix, ont été présentées à FB :

²La finir à 16h; maximum 1h; seulement si le sommeil nocturne est bon; pas dans son lit; mettre un réveil.

³Cohérence cardiaque : respiration régulière pour permettre un contrôle du rythme cardiaque.

⁴Se laisser aller aux pensées qui viennent et qui partent.

⁵Le fait que le film ou le livre soit déjà connu permet de réduire la charge de la concentration pour suivre l'histoire.

- Le compte en banque : En début de journée, un certain montant d'argent est présent dans le compte et certaines activités vont le vider et d'autres vont le remplir ou le garder intact. Les activités qui augmentent les symptômes vident le compte et celles qui font diminuer les symptômes le remplissent. Ainsi, si le compte est vide, il faut choisir les activités qui font baisser les symptômes, afin de renflouer le compte et donc permettre de faire à nouveau une activité plus demandante (Powell, 2015).

- Le régime alimentaire par système de points : Chaque jour, nous disposons d'une quantité de points qui nous guide dans ce qu'on peut ou non manger. Chaque aliment est doté d'un nombre de points, établi sur la base calorique de celui-ci. Chaque fois qu'un aliment est mangé, le nombre de points à disposition diminue. De la même manière, l'activité choisie doit être décidée en fonction des points qui restent à disposition pour la fin de la journée (activités qui augmentent les symptômes). Dans la perte de poids, des points peuvent être gagnés par l'activité physique, ici cela sera par les activités qui diminuent les symptômes. Cette idée de faire un parallèle avec un régime alimentaire est issue de ma pratique clinique.

Ce système de gestion des symptômes et de choix d'activités a été couplé au concept clé « maximiser ce qui fait du bien et minimiser ce qui fait du mal » (Beni, 2019). La marche extérieure a été imposée à FB, comme activité quotidienne, car les bienfaits d'une activité à faible intensité sur le processus de récupération sont aujourd'hui largement reconnus (Bailey et al., 2019). La marche est donc imposée à tout sportif qui consulte à la suite d'une CC.

L'accompagnement dans l'arrêt de la pratique du hockey. Compte tenu des plaintes de FB, des séquelles persistantes et du nombre de CC, il était important d'aborder l'arrêt de la pratique du hockey. Cela était évident, sur la base de ses plaintes et sur son historique des CC. Ainsi, toujours sous le principe de transparence, les risques à court, moyen et long terme des CC ont été expliqués en détail à FB. Naturellement, FB était très réfractaire à l'idée de devoir stopper sa carrière, mais surtout d'arrêter de pratiquer son sport-passion. Il a fallu travailler sur différents points. Ils sont très résumés ci-dessous, mais ils ont été discutés et repris sur plusieurs séances.

Tout d'abord, son identité de hockeyeur a longuement été discutée. Il a commencé le hockey à l'âge de 5 ans : c'était son identité. Cela l'a construit, modelé et occupé durant toutes ces années. Il a fallu assouplir cette identité, en la transposant de hockeyeur, à celle du sportif en général. L'idée étant qu'il soit prêt à s'ouvrir à d'autres sports. Des

techniques issues des thérapies cognitivo-comportementales sur l'acceptation du changement ont été appliquées, comme la balance décisionnelle ou la flèche descendante, c'est-à-dire permettre à la personne « de se décentrer par rapport au point de vue initial et de remplacer progressivement ses pensées automatiques par des pensées alternatives » (Mihaescu et al., 1998, p. 252; Ovide & Fontaine, 2011).

Ensuite, une analyse du pourquoi il aimait autant pratiquer le hockey sur glace a été conduite. La notion d'adrénaline que procure la pratique du hockey sur glace, comme dans de nombreux sports de contact, a été rapidement identifiée. Il recherche et aime cette sensation. Mais comme les sports de contact au sens large lui sont interdits, il devenait évident que l'adrénaline n'allait pas devoir se ressentir dans le contact, mais dans d'autres actions du nouveau sport choisi. À nouveau, en appliquant des stratégies issues des thérapies cognitivo-comportementales, les sports alternatifs ont été dégagés, en mettant en évidence leur force, comme la stratégie du jeu ou l'endurance.

Un détour par la notion de l'autodestruction a aussi été fait. Il lui a été confirmé que les troubles pourraient encore s'aggraver et s'intensifier s'il persistait à jouer au hockey, et cela sans même avoir de CC (c.-à-d., notion de sous-commotion) et que l'amendement de ses troubles n'était pas certain du tout, même après l'arrêt.

Il a fallu aussi aborder les aspects de la satisfaction des besoins dans la pratique du sport. D'une manière générale, la notion de satisfaction est très souvent réduite dans le cas de TCL, provoquant des états anxio-dépressifs (Auclair-Pilote et al., 2019). Pour toutes ces raisons, il était important que FB puisse s'adonner à une autre activité sportive, afin de maintenir un niveau de satisfaction personnelle et d'équilibre de vie.

FB a eu aussi la possibilité de discuter avec d'anciens amis hockeyeurs, qui avaient dû eux aussi mettre un terme à leur carrière à cause d'une ou plusieurs CC. Avoir pu discuter avec des pairs qui puissent comprendre ce qu'il ressentait a été un point capital dans la prise de décision. D'ailleurs, dans l'acceptation du changement, il faudrait toujours conseiller à la personne de pouvoir discuter avec des personnes qui ont le même vécu. Des personnes qui appartiennent au même groupe de référence permettent une meilleure résonance. En effet, le fait d'appartenir à une collectivité permet de partager avec les autres membres des idées ou des traits communs, pour pouvoir se reconnaître dans le « nous » (Rocher, 1972).

L'évaluation neuropsychologique. Le bilan a été réalisé 11 mois après la 1^{re} consultation. Il a été effectué en deux séances : la première séance a permis de récolter les données d'anamnèse et les plaintes actuelles. La seconde séance a été dédiée à l'administration des tests.

Tests. Les tests classiques ont été choisis pour une personne jeune et surtout pour évaluer les domaines classiquement altérés après un TCL, à savoir les capacités mnésiques, attentionnelles et exécutives.

L'Annexe C répertorie tous les tests administrés, ainsi que les résultats et l'interprétation.

Plaintes cognitives, émotionnelles et comportementales (J + 11 mois). Spontanément sur un plan cognitif, FB se plaint de difficultés de lecture, en lien avec des difficultés de saccades. Il a des pertes de mots dans les langues qu'il pratique couramment, en se trompant par exemple sur la conjugaison. Il oublie aussi les prénoms des personnes. Sur un plan physique, quand il fait certains mouvements brusques, il relève des vertiges. Il a de légers maux de tête quand il doit lire de manière continue et intense.

Sur demande spécifique, l'orientation, le raisonnement, l'écriture et la planification sont en ordre. Sur le plan émotionnel, il va globalement bien. Sur le plan du comportement, il a encore occasionnellement des sautes d'humeur, surtout quand il est fatigué. Dans la réalisation de son travail, il relevait une plus grande fatigabilité, une irritabilité plus marquée et une augmentation des sautes d'humeur, avec la nécessité de s'isoler de ses collègues.

Apparition et évolution. Tous ses troubles sont apparus surtout depuis le TCC au Jour J – 10 ans. Les troubles ont persisté longtemps, sans jamais vraiment disparaître, avec de nouveaux symptômes à la suite des TCL suivants. Les troubles se sont possiblement amendés entre J-4 ans et J-2 ans, mais il a développé une forte dépression qui a probablement masqué les symptômes, étant donné qu'il ne réalisait aucune activité. Ensuite, les troubles ont repris quand il a recommencé à jouer au hockey (c.-à-d., au J-3 mois) et ils sont fortement réapparus à la suite du TCL qui a déclenché la consultation du Jour J.

Au niveau du comportement, FB est collaborant, adéquat et il ne se laisse pas distraire par des éléments extérieurs. Au niveau de la passation des tests, FB est rapide et efficace. Lors de tâches plus demandantes, il ressent une pression dans le crâne, des difficultés à réaliser des tâches visuelles ou des tâches longues. Une fatigue a été constatée après environ une heure et demie d'évaluation, qui a également provoqué une hypersensibilité à la lumière.

Résultats

Résultats de la prise en charge

Deux axes de prise en charge avaient été définis :

- 1) la gestion des symptômes post-commotionnels; et
- 2) l'accompagnement dans l'arrêt de la pratique du hockey.

En ce qui concerne la gestion des symptômes, lors des deux premières séances, les éléments suivants ont été abordés : l'anamnèse, les plaintes, les règles d'or, le repos et la fatigue ainsi que les questions de FB. Les séances suivantes ont permis de reprendre ces propos et d'aborder l'accompagnement dans l'arrêt de la pratique du hockey. Les deux premières séances ont été réalisées avec un délai d'une semaine et les suivantes avec un délai de deux semaines. Dans le cas de FB, il était important de rapprocher les premières séances, afin de lui fournir les différentes règles d'or rapidement, mais ensuite cela a été espacé pour qu'il puisse mettre en application les stratégies discutées et réfléchir aux propos (c.-à-d., l'application des concepts de l'adhérence au traitement et de la psychoéducation). Toutefois, selon les cas, il arrive qu'il faille faire plusieurs séances hebdomadaires de suite, avant de commencer à espacer les séances.

Grâce au seuil des symptômes qui monitorise le choix des activités et leur durée, les jours qui ont suivi la première consultation ont permis à FB de s'auto-observer et de s'autoréguler, sur la base des outils expliqués ci-dessus. L'autorégulation est très importante, car elle offre au sportif une certaine maîtrise de la situation. FB a pu se rendre compte qu'il n'est pas toujours évident de faire le bon choix d'activités. D'ailleurs, les premiers jours FB était fréquemment au-dessus du seuil des symptômes. Mais, de jour en jour, il a appris à se monitoriser et à appliquer des choix adéquats d'activités, en fonction du seuil des symptômes, et en appliquant en parallèle les bons temps de repos. Lors de la 3^e séance, il est apparu que l'application adéquate des stratégies commençait à apporter des bénéfices et une réduction des symptômes. Il devenait alors capital d'aborder avec FB la notion des risques dans la poursuite de la pratique du hockey sur glace et surtout d'envisager d'arrêter ce sport.

Ainsi, sur cet aspect d'arrêter la pratique du hockey, la décision finale a été prise à la suite de nos discussions et des éléments fournis qui lui ont permis d'élaborer sa réflexion en dehors de nos séances, notamment en discutant avec ses pairs. L'arrêt a aussi été possible, car FB présentait des symptômes post-traumatiques assez marqués et il devenait évident que cela n'était plus possible pour lui de continuer une activité qui était en train de le détruire. Tout cela lui a permis de s'ouvrir à d'autres activités sportives, afin

de lui permettre de s'adonner à des activités sportives satisfaisantes, comme il l'a fait toute sa vie. Il a d'ailleurs commencé à jouer au tennis, où la satisfaction dans l'endurance et les stratégies de jeu ont pris le dessus sur l'adrénaline du hockey sur glace. Cet accompagnement a également permis un arrêt de son sport-passion de manière sereine, sans développer un état anxiodépressif, comme cela avait été le cas entre le J - 4 ans et le J - 2 ans.

En résumé et comme cela est montré à l'Annexe A, il y a une différence considérable dans la présence des symptômes et de leur intensité. En cela, la prise en charge a été bénéfique, car elle lui a appris à mieux comprendre ses symptômes, comment ils se déclenchent et comment les faire diminuer. Le fait d'avoir arrêté la pratique d'un sport qui continuait à alimenter les troubles a aussi apporté un bénéfice substantiel à la diminution des symptômes.

Résultats du bilan neuropsychologique

Sur la base des tests administrés (cf. Annexe C), le bilan neuropsychologique effectué chez FB a mis en évidence un déficit dans une tâche de lecture, où le résumé est erroné, car il n'a pas compris ce qu'il a lu, associé à des performances possiblement déficitaires en apprentissage. Ensuite, les tâches qui demandent un fort engagement visuel sont déficitaires (c.-à-d., copie de la figure complexe de Rey, une tâche qui mesure la capacité à déplacer son focus attentionnel et lecture et abandon d'une tâche d'attention soutenue).

Le reste du tableau cognitif se situe dans les normes, voire dans les normes supérieures, compte tenu de son âge, sexe et nombre d'années d'étude. Sur un plan clinique, FB relève une pression sur la tête, plus marquée au niveau des tempes, lors de tâches demandantes. Cette pression s'est atténuée dès que la tâche s'est terminée. La réalisation d'une tâche demandant de focaliser une cible présente sur un écran d'ordinateur a été très difficile et a été même interrompue. En effet, il ne distinguait plus les formes, son regard n'arrivait pas à rester focalisé sur l'écran et il avait mal à la tête. Enfin, la lecture a été problématique, car cela lui a demandé une forte concentration oculaire (en lien avec ses problèmes de saccades) et il s'est montré alors incapable de comprendre ce qu'il lisait. Une fatigabilité était présente en fin de séance, ce qui a eu un impact sur ses performances. Il est devenu aussi sensible à la lumière. Il a constaté également une irritabilité plus marquée avec la fatigue.

Tous ces troubles eurent un impact quotidien chez FB, que ce soit dans sa capacité à apprendre de nouvelles choses, à lire un document ou un livre, ou même à réaliser certaines tâches qui demandent de la focalisation. En raison de cela, FB s'est vu obligé de

mettre en place des stratégies palliatives (p. ex., noter, faire des résumés, répéter plusieurs fois l'information). Sur le plan comportemental, FB dû également veiller à se contrôler et/ou éviter certaines situations sociales.

Discussion

L'objectif de ce chapitre était multiple. Après avoir très brièvement présenté les connaissances médicales théoriques actuelles des séquelles post-commotionnelles, une étude de cas d'un défenseur de hockey sur glace a été proposée. Cette étude de cas a permis d'offrir un éclairage important sur les séquelles cognitives, physiques et psychopathologiques à long terme de multiples CC, en présentant un bilan neuropsychologique complet, à un an de la dernière CC, et une prise en charge ciblée des séquelles post-commotionnelles de ce hockeyeur.

Grâce aux outils, aux stratégies et aux méthodes employées dans la prise en charge, les troubles de FB ont pu diminuer (cf. Annexe A) et il a obtenu une aide efficace dans la décision d'arrêter le hockey sur glace. Ces éléments de prise en charge, axés sur les difficultés de FB, compilent une approche neuropsychologique et une approche issue des thérapies cognitivo-comportementales, toutes deux des approches complémentaires pour ce type de problématique. Les outils, les stratégies et les méthodes proposées dans cet article offrent la possibilité de réduire les SPC et ils pourront être des aides précieuses pour toute personne qui aura en charge des sportifs commotionnés. En effet, la littérature est maigre sur les aides pratico-pratiques, car très souvent les conseils fournis sont très généraux. Ces outils, ces stratégies et ces méthodes n'ont, a priori, jamais été publiés. En outre, l'histoire de FB n'est pas unique et elle met en lumière les lacunes du milieu médical trop souvent démuné et peu compétent dans la gestion des CC à répétition, tant sur les règles d'arrêt de la pratique de l'activité à risque, que sur l'explication des symptômes post-commotionnels. Les neuropsychologues ont ici un rôle important à jouer et ils doivent naturellement être compétents dans le domaine de la neuropsychologie (Van der Linden, 2018), mais plus spécifiquement dans la neuropsychologie du sport (McCrorry et al., 2017).

Ensuite, un bilan neuropsychologique complet a été réalisé à une année de la dernière CC. Les différents troubles présentés par FB à ce bilan sont compatibles avec les séquelles des multiples CC survenues dans la pratique du hockey sur glace; ces troubles ne s'expliquent pas par d'autres facteurs et ils sont qualifiés de persistants (McCrorry et al., 2017). Les séquelles principales sont probablement liées au premier TCC (c.-à-d., au Jour J - 10 ans), où des

lésions cérébrales, montrées à la neuroimagerie, persistent toujours aujourd'hui. Compte tenu du délai depuis la dernière CC, il est probable que les symptômes décrits persistent à vie, comme cela a été montré par de nombreux auteurs (Tator et al., 2016). De plus, FB présente plusieurs facteurs aggravants à la persistance des symptômes à long terme (c.-à-d., un nombre important de CC; des CC qui n'ont jamais été bien soignées; une durée de récupération très longue, voir même il n'a jamais vraiment récupéré puisqu'il présente encore des symptômes post-commotionnels; des petits chocs ont provoqué des CC; les premières CC et les premiers chocs ont eu lieu alors que son cerveau n'était pas encore mature; et la présence d'un court délai entre certaines CC).

Cet article présente des limites. Tout d'abord, il manque les données médicales des premières CC de FB, notamment les données de l'IRM cérébrale. Cela aurait permis une comparaison avec l'IRM réalisée à J + 11 mois. Ensuite, les éléments de prise en charge présentés dans cet article sont spécifiques à la problématique de FB et donc limités. En effet, une prise en charge qui se veut individualisée sera différente pour un autre individu et d'autres éléments de prise en charge devront être envisagés, le cas échéant. Enfin, le bilan neuropsychologique a été effectué à 11 mois de la dernière CC. Un bilan neuropsychologique de contrôle d'ici deux à trois ans permettrait de confirmer ou non la persistance des symptômes à vie. Mais l'intérêt serait aussi de voir comment les troubles de FB vont évoluer d'ici 15 à 20 ans, et notamment d'observer si FB développe ou non une encéphalopathie chronique traumatique (McKee et al., 2016).

Conclusion

L'avenir du diagnostic des CC réside dans les progrès de la neuroimagerie ou des marqueurs sanguins (Shenton et al., 2018). Mais une prise en charge de qualité restera toujours nécessaire. Il n'y a pas de consensus national ou international quant au nombre de CC réhibitoire pour arrêter une activité sportive à risque. Toutefois, le cumul de tous les facteurs aggravants décrits ci-dessus est suffisant pour être catégorique dans la nécessité d'arrêter la pratique de ladite activité à risque. Aucun des médecins que FB a consulté durant toutes ces années n'avaient pris le temps de discuter avec lui de la nécessité de se soigner adéquatement, afin d'éviter des séquelles à long terme. Cela rejoint le constat que certains médecins sont encore aujourd'hui démunés dans la gestion des CC (Stoller et al., 2014). Dès lors, face à des séquelles persistantes, comme pour FB ou dans 23% des cas (Tator et al., 2016), un accompagnement professionnel, individualisé et transparent doit pouvoir être offert au sportif. Le but étant

naturellement d'agir le plus adéquatement et précocement possible sur les séquelles, afin de raccourcir le temps d'arrêt de jeu et d'éviter les séquelles à long terme (Castile et al., 2012). Dès lors que des séquelles deviennent persistantes et fortement handicapantes, l'arrêt de la carrière doit être envisagé et discuté. Face à ce changement d'identité, un accompagnement qualifié et professionnel doit être offert, afin d'éviter le développement d'états anxio-dépressifs et/ou de mauvais diagnostics psychiatriques. Les techniques issues des thérapies cognitivo-comportementales offrent une approche efficace.

Au final, les CC dans le sport sont toujours plus fréquentes. Premièrement, car la prise de conscience de cette problématique de santé est meilleure, mais aussi, car le nombre de CC augmente pour différentes raisons (p. ex., matériel, règles, gabarit du sportif). Le risque est présent et il est du devoir des professionnels de la santé de veiller à bien soigner les sportifs victimes d'une CC. Toutefois, certaines fédérations sportives restent encore très frileuses face à cette réalité médicale, notamment en raison d'énormes enjeux financiers, mais aussi sportifs. FB n'a pas été informé des séquelles possibles à long terme et cela pose de nombreuses questions éthiques à vouloir encore aujourd'hui banaliser ou minimiser l'impact des CC à répétition (Gillett, 2018). En effet, même si aujourd'hui la survenue de l'ECT reste controversée, il paraît clair qu'à la suite de CC à répétition, des séquelles persistantes sont certaines. Le cas de FB en témoigne. Ces séquelles handicapent le quotidien, tant sur un plan personnel que professionnel, chez des personnes qui très souvent n'ont pas encore eu trente ans.

« Si tu n'arrives pas à penser, marche

Si tu penses trop, marche

Si tu penses mal, marche encore »

Jean Giono

Références

- Alsalaheen, B., Stockdale, K., Pechumer, D., & Broglio, S. P. (2016). Validity of the immediate post concussion assessment and cognitive testing (ImPACT). *Sports Medicine*, 46, 1487-1501.
- Auclair-Pilote, J., Lalande, D., Tinawi, S., Feyz, M., & de Guise, E. (2019). Satisfaction of basic psychological needs following a mild traumatic brain injury and relationships with post-concussion symptoms, anxiety, and depression. *Disability and Rehabilitation*, 43, 1-9.
- Bailey, C., Meyer, J., Briskin, S., Tangen, C., Hoffer, S. A., Dundr, J., Brennan, B., & Smith, P. (2019). Multidisciplinary concussion management: A model for outpatient concussion management in the acute and post-acute settings. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 34, 375-384.
- Beni, C. (2019). Les commotions cérébrales dans le sport. Dans R. Antonini Philippe (Ed.), *10 cas pratiques en psychologie du sport* (p. 51-74). Dunod.
- Beni, C. (2010). Prise en charge de la fatigue suite à un traumatisme crânien : application des stratégies cognitivo-comportementales. Dans B. Zellner Keller (Ed.), *Des métiers pour aider : apport de l'approche cognitivo-comportementale et de ses outils*. Médecine et Hygiène.
- Beni, C., Rochat, L., Malysse, N., Delecroix, H., Arnould, A., Azouvi, P., ... Van der Linden, M. (2017). L'échelle des changements de comportements socio-émotionnels de Genève (ECCSEG) : validation auprès de patients victimes d'un traumatisme crânio-cérébral. *Revue Canadienne Des Sciences Du Comportement*, 49, 7-17.
- Brooks, B. L., Mannix, R., Maxwell, B., Zafonte, R., Berkner, P. D., & Iverson, G. L. (2016). Multiple past concussions in high school football players: Are there differences in cognitive functioning and symptom reporting? *The American Journal of Sports Medicine*, 44, 3243-3251.
- Castile, L., Collins, C. L., McIlvain, N. M., & Comstock, R. D. (2012). The epidemiology of new versus recurrent sports concussions among high school athletes, 2005-2010. *British Journal of Sports Medicine*, 46, 603.
- Ellis, M. J., Leiter, J., Hall, T., McDonald, P. J., Sawyer, S., Silver, N., Bunge, M., & Essig, M. (2015). Neuroimaging findings in pediatric sports-related concussion. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 16, 241-247.
- Fontaine, O., & Fontaine P. (2011). *Guide clinique de thérapie comportementale et cognitive*. RETZ.
- Fortier-Lebel, O., & Dupont, C. (2019). Revue narrative de l'effet des traumatismes crâniens sur la fatigue. *Neuropsychologie Clinique et Appliquée / Applied and Clinical Neuropsychology*, 3, 82-91.
- Frémont, P. (2017, December). [Lectures notes]. Commotion cérébrale : prévention, détection et gestion dans mon milieu. Université de Laval.
- Gillett, G. (2018). Concussion in sport: The unheeded evidence. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, 27, 710-716.
- Gosselin, N., Lassonde, M., Petit, D., Leclerc, S., Mongrain, V., Collie, A., & Montplaisir, J. (2009). Sleep following sport-related concussions. *Sleep Medicine*, 10, 35-46.
- Harmon, K. G., Drezner, J. A., Gammons, M., Guskiewicz, K. M., Halstead, M., Herring, S. A., ... Roberts, W. O. (2013). American medical

- society for sports medicine position statement: Concussion in sport. *British journal of sports medicine*, 47, 15-26.
- Howell, D. R., Taylor, J. A., Tan, C. O., Orr, R., & Meehan, W. P. (2018). The role of aerobic exercise in reducing persistent sport-related concussion symptoms. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51, 647-652.
- Ma, H. P., Chen, P. S., Wong, C. S., Chang, C. F., Ou, J. C., Tsai, Y. R., ... Wu, J. C. C. (2019). Psychometric evaluation of anxiety, depression, and sleep quality after a mild traumatic brain injury: A longitudinal study. *Behavioural Neurology*, 2019, 1-9.
- Manley, G., Gardner, A. J., Schneider, K. J., Guskiewicz, K. M., Bailes, J., Cantu, R. C., ... Iverson, G. L. (2017). A systematic review of potential long-term effects of sport-related concussion. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 969-977.
- Mansell, J. L., Tierney, R. T., Higgins, M., McDevitt, J., Toone, N., & Glutting, J. (2010). Concussive signs and symptoms following head impacts in collegiate athletes. *Brain Injury*, 24, 1070-1074.
- McCroory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., ... Vos, P. E. (2017, October). *Consensus statement on concussion in sport* [conference session]. International conference on concussion in sport, Berlin.
- McCroory, P., Davis, G., & Makdissi, M. (2012). Second impact syndrome or cerebral swelling after sporting head injury. *Current Sports Medicine Reports*, 11, 21-23.
- McKee, A. C., Alosco, M. L., & Huber, B. R. (2016). Repetitive head impacts and chronic traumatic encephalopathy. *Neurosurgery Clinics of North America*, 27, 529-535.
- Mez, J., Daneshvar, D. H., Kiernan, P. T., Abdolmohammadi, B., Alvarez, V. E., Huber, B. R., ... McKee, A. C. (2017). Clinicopathological evaluation of chronic traumatic encephalopathy in players of american football. *Journal of American Medical Association*, 318, 360-370.
- Mihaescu, G., Séchaud, M. C., Delsignore, A., & Cottraux, J. (1998). *Précis de thérapie comportementale et cognitive*. Médecine et Hygiène.
- Mittenberg, W., Tremont, G., Zielinski, R. E., Fichera, S., & Rayls, K. R. (1996). Cognitive-behavioral prevention of post concussion syndrome. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 11, 139-145.
- Powell, T. (2015). *Exercice de remédiation cognitive pour les adultes cérébrolésés* (Vol. 1). De Boeck Supérieur.
- Purcell, L. K., & Canadian Paediatric Society, Healthy Active Living and Sports Medicine Committee. (2014). Sport-related concussion: Evaluation and management. *Paediatrics & Child Health*, 19, 153-165. <https://dx.doi.org/10.1093%2Fpch%2F19.3.153>
- Rocher, G. (1972). *Introduction à la sociologie générale*. Hurtubise.
- Shenton, M. E., Price, B. H., Levin, L., & Edersheim, J. G. (2018). Mild traumatic brain injury: Is DTI ready for the courtroom? *International Journal of Law and Psychiatry*, 61, 50-63. <https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2018.09.002>
- Stoller, J., Carson, J. D., Garel, A., Libfeld, P., Snow, C. L., Law, M., & Frémont, P. (2014). Do family physicians, emergency department physicians, and pediatricians give consistent sport-related concussion management advice? *Canadian Family Physician*, 60, 550-552.
- Tator, C. H., Davis, H. S., Dufort, P. A., Tartaglia, M. C., Davis, K. D., Ebraheem, A., & Hiploylee, C. (2016). Post concussion syndrome: Demographics and predictors in 221 patients. *Journal of Neurosurgery*, 12, 1206-1216. <https://doi.org/10.3171/2015.6.JNS15664>
- Van der Linden, M. (2018). Pour une neuropsychologie clinique intégrative et centrée sur la vie quotidienne. *Revue de Neuropsychologie*, 10, 41-46. <https://doi.org/10.3917/rne.101.0041>

Reçu le 16 février 2020

Révisé le 25 avril 2020

Accepté le 16 mai 2021 ■

Annexe A

Liste des symptômes post-commotionnels de FB lors du Jour J et Jour J + 11

<i>Symptômes Physiques</i>	Jour J			Jour J + 11 mois		
	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, intensité / 10 *</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, intensité / 10 *</i>
Mal de tête			9			
Pression dans le crâne			8			
Vertiges			8			
HS bruit			6			
HS lumière			8			5
Vision trouble			8			1
Sensation d'être dans le brouillard			5			2
Sensation d'anomalie			5			
Sensation d'être ralenti physiquement			3			
Autre : _____						
<i>Symptômes Cognitifs</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, intensité / 10 *</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, intensité / 10 *</i>
Oublis			8			
Difficultés d'apprentissage			10			2
Problèmes de concentration			10			5
Difficultés à prendre des décisions						2
Ralentissement dans les idées			3			2
Autre : Lecture			10			5
<i>Sommeil et fatigue</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, fréquence par semaine</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, fréquence par semaine</i>
Fatigue			7			
Somnolence						
Hypersomnie						
Insomnie			5			
Difficultés d'endormissement			6			
Réveils nocturnes			7			
Cauchemars						
Somnifères						
Autre : _____						
<i>Comportement et Emotion</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, intensité / 10 *</i>	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Si oui, intensité / 10 *</i>
Emotivité accrue			5			
Tristesse			5			
Nervosité			10			
Irritabilité			10			
Impatience			8			
Agressivité			3			
Autre : Sautes d'humeur			10			

Notes. * 0 = aucun problème ; 10 = problème majeur. Document original de Catia Beni.

Annexe B

Grille d'évaluation des activités du quotidien

Grille d'évaluation des activités du quotidien

Établi par Beni Catia, Docteur en Psychologie, Spécialiste en Neuropsychologie du Sport ; mai 2020

Nom : FB

Date : Jour J

Le tableau ci-dessous est composé de trois colonnes. Une colonne qui répertorie les activités du quotidien qui augmentent les symptômes post-commotionnels, une colonne qui répertorie les activités du quotidien qui diminuent les symptômes post-commotionnels, et une colonne qui répertorie les activités « neutres » du quotidien.

Merci de réfléchir et d'analyser les différentes activités de votre quotidien et d'évaluer dans quelle colonne elles doivent être placées. Une fois la colonne choisie, il vous faut encore évaluer l'intensité, sur une échelle comprise entre 1 et 10 (1 = impact très discret ; 10 = impact très fort).

Exemple :

- Si quand je lis un livre, cela me provoque des maux de tête, des nausées et des troubles de la concentration, je vais mettre cette activité dans la colonne « activités qui augmentent les symptômes » et évaluer l'intensité à 7/10.
- A l'inverse, si faire une sieste fait disparaître tous mes symptômes, je vais mettre cette activité dans la colonne « activités qui diminuent les symptômes », et évaluer ce bénéfice à 10/10.
- Enfin, si cuisiner ne me provoque aucun symptôme, mais ne les fait pas non plus diminuer, alors je vais écrire cette activité dans la colonne « neutre ».

Activités qui augmentent les symptômes		Activités Neutres	Activités qui diminuent les symptômes	
	Intensité			Intensité
LECTURE	10/10	CONDUIRE	SIESTE	8 /10
DISCUSSION A PLS	7/10	TV	DOUCHE	7 /10
STRESS	10/10		MARCHER	7/10
ECRAN FOCALISÉ	10/10			/10
TROP LUMIÈRE	7/10			/10
	/10			/10
	/10			/10
	/10			/10
	/10			/10
	/10			/10

Note. Établi par Beni Catia, Docteur en Psychologie, Spécialiste en Neuropsychologie du Sport.

Annexe C

Tests, scores et interprétations des performances de FB à J + 11 mois

Domaines Cognitifs	Tests et référence des tests	Score FB	Interprétation	
Langage	Discours Dénomination continue	Discours oral spontané 1 ^{ère} partie du Stroop Test (Delis & Kaplan)	en ordre 27 ^e , NS10, 0 erreur	Normes
	Lecture continue	2 ^{ème} partie du Stroop Test (Delis & Kaplan)	19 ^e , NS 12, 0 erreur	Normes
	Lecture à haute voix	Texte du Montréal - Toulouse	en ordre	Normes
	Production écrite	Ecriture automatique (nom, prénom, adresse)	en ordre	Normes
	Production écrite	Ecriture spontanée	en ordre	Normes
	Calcul	Calcul Oral Sur la base du Test de la PASAT	en ordre	Normes
Praxis	Praxies constructives	Copie de la Figure Complexe de Rey (1959)	30/36; <Pc5 (approximative et réalisée de manière scindée)	Déficitaire
Orientation	Orientation	Jour - Mois - Année - Semaine - Saison	5/5	Normes
	Orientation spatiale	Lieu - Étage - Ville - Canton - Région	5/5	Normes
Mémoire à court terme / de travail	Empan verbal direct	Echelle d'intelligence WAIS-IV (Wechsler, 2008)	empan de 6, Pc35	Normes
	Empan verbal indirect	Echelle d'intelligence WAIS-IV (Wechsler, 2008)	empan de 6, Pc84	Normes
	Empan verbal ordre croissant	Echelle d'intelligence WAIS-IV (Wechsler, 2008)	empan 6, Pc53	Normes
	Mémoire de travail	Mémoire des Chiffres de la WAIS IV (Wechsler, 2008)	29; NS11	Normes
	Mise à Jour de l'information	Test du PASAT (Naegle et Mazza, Adaptation française, 2004)	59/60; Pc50	Normes
Mémoire épisodique / apprentissage	Mémoire verbale	Rappel/Résumé texte lu (MT)	lacunaire, erroné	Déficitaire
		Buschke Selective Reminding Test (Buschke, 1973. RLS 15-items, validé en français par Rectem et al. 2004)	Moy d'apprentissage : 11,8	Normes
			Rappel différé : 15	Normes
	Pourcentage d'apprentissage : 66%	Normes		
Mémoire Visuelle	Figure Complexe de Rey (1959)	Rappel Immédiat : 22 (Pc30-50); Rappel Différé : 22; Pc30-50)	Normes	
Fonctions exécutives	Contrôle inhibiteur	3 ^{ème} partie du Stroop Test (Delis & Kaplan)	42"; NS12	Normes
	Planification	Test des Commissions, modifiés (Pelletier et al., 2009)	Temps de planification : 5'30; Pc50-70)	Normes
			Erreur totale : 0; Pc80-95 en ordre	Normes
	Fluence Visuo-Flexibilité mentale	Trois Frises Test des 5 points (Tucha et al, 2012) 4 ^{ème} partie du Stroop (Delis & Kaplan)	31; Pc10-15) // 1 répétition (3,2%) 37"; NS14; 1 erreur NC	Normes
			Partie B du Trail-Making Test (GREFEX, 2008)	51", Pc50-75, 0 erreur B-A = 35", Pc25
Fonctions attentionnelles	Vitesse de traitement	Partie A du Trail-Making Test (GREFEX,	16", Pc95, 0 erreur	Normes
	Attention divisée	TAP, Tests d'évaluation de l'attention, version 2.3.1 (Zimmerman & Fimm)	Modalité visuelle : médiane 733 (Pc54) - ET 113 (Pc88) – Om 1 (Pc42)	Normes
			Modalité auditive : médiane 730 (Pc2) - ET 183 (Pc8) – Om 1 (Pc31)	Déficitaire
	Attention soutenue	TAP, Tests d'évaluation de l'attention, version 2.3.1 (Zimmerman & Fimm)	Nombre total d'omission : 2; Pc24 stoppée après 3 minutes, car trop difficile	Normes
Raisonnement	Visuo-Spatial	Matrice de l'échelle d'intelligence WAIS-IV (Wechsler, 2008)	25; NS15	Normes
Questionnaires	Humeur dépressive	Beck Depression Inventory (BDI II; Beck, 1998)	4	Normes
	Humeur anxieuse	State Trait Inventory Anxiety (STAI A et B, Spielberg, 1980)	anxété trait : 44/80; anxété état : 40/80	Normes
	Fatigue	Fatigue Impact Scale (FIS; Fisk et al, 1994)	Score non significatif	Normes

Note. Sauf mention contraire, les normes sont celles des fournisseurs des tests. Elles sont établies selon l'âge, plus rarement selon le sexe et le niveau d'éducation. Rappelons que, du centile 100 au centile 96 (Note standard (NS) : ≥ 16 ; score $Z \geq 1.75$), la valeur est très supérieure à la norme, qu'elle est supérieure à la norme entre les centile 85 et 95 (NS : 14-15; score Z entre 1,05 et 1,65), dans la norme entre les centiles 16 et 84 (NS de 7 à 13; score Z entre 1 et -1), qu'elle est dans les normes inférieures entre les centiles 6 et 15 (NS = 6; Score Z entre < -1.05 et > -1.6), et est déficitaire, nettement à très inférieur à la norme, pour $Pc \leq 5$ (NS ≤ 5 ; Score $Z \leq -1.65$). La moyenne est au centile 50 (NS = 10; Score $Z = 0$). Cette interprétation des résultats correspond aux lignes directrices établies par l'Association Suisse des Neuropsychologues, version 2018. Pour les tests ne possédant pas de normes pour la population de référence, une appréciation clinique est proposée.

Cognitive profile in anti-NMDAR encephalitis: Neuropsychological evaluation, rehabilitation, and evolution. A case report

Nuria Montoro-Membila¹, Angel Gómez-Camello², Dr.,
Inmaculada Villegas-Rodríguez², Dr., & Mónica Triviño-Mosquera³, Ph. D.

¹ Neuropsychologist. Mind, Brain and Behaviour Research Center. University of Granada, Spain.

² Neurologist. Unit of Neurology. Parque Tecnológico de la Salud. Granada, Spain.

³ Neuropsychologist. San Rafael University Hospital. O. H. San Juan de Dios. Granada, Spain.

Encephalitis associated with antibodies against the N-methyl-D-aspartate receptor (i.e., anti-NMDAR encephalitis) is an immune-mediated disorder mainly affecting girls and young women with ovarian teratoma. The clinical picture of the disease progresses from headaches and seizures, psychopathological symptoms (i.e., anxiety, psychosis, or hyperreligiosity), and neuropsychological deficits (i.e., memory, attention, and language disintegration) into a state of agitation, catatonia, dysautonomia (i.e., abnormal movements due to inappropriate muscular activity) and facial dyskinesia. Reports of the neuropsychological profile and evolution, as well as the neuropsychological rehabilitation in anti-NMDAR encephalitis in the literature are scarce. We present the case of a 21-year-old woman diagnosed with anti-NMDAR encephalitis and we describe the different neuropsychological evaluation tests performed before and after neuropsychological rehabilitation during the acute period. A profile of fronto-subcortical neuropsychological damage was observed with executive functions and emotional regulation affected.

Keywords: anti-NMDAR encephalitis, immunodiagnosis, cognitive profile, neuropsychological evaluation, neuropsychological rehabilitation

L'encéphalite avec anticorps antirécepteurs N-méthyl-D-aspartate à médiation immunitaire (c.-à-d., encéphalite anti-NMDAr) touche principalement les filles et les jeunes femmes atteintes de téréatome ovarien. Le tableau clinique de la maladie évolue à partir de maux de tête, de crises d'épilepsie, de symptômes psychopathologiques (c.-à-d., anxiété, psychose ou hyperreligiosité) et de déficits neuropsychologiques (c.-à-d., désintégration de la mémoire, de l'attention et du langage), en état d'agitation, de catatonie, de dysautonomie (c.-à-d., mouvements anormaux dus à une activité musculaire inappropriée) et de dyskinésie faciale. Les rapports sur le profil et l'évolution neuropsychologiques et sur la réadaptation neuropsychologique de l'encéphalite anti-NMDAr dans la littérature sont rares. Nous présentons le cas d'une femme de 21 ans atteinte d'encéphalite anti-NMDAr et nous décrivons les différents tests d'évaluation neuropsychologique effectués avant et après la réadaptation neuropsychologique pendant la phase aiguë. Un profil de lésions neuropsychologiques sous-cortico-frontales a été observé, incluant une altération des fonctions exécutives et de la régulation émotionnelle.

Mots-clés : encéphalite anti-NMDAr, diagnostic immunitaire, profil cognitif, évaluation neuropsychologique, réadaptation neuropsychologique

Anti-NMDAR encephalitis is a recently identified severe autoimmune disease with a mortality rate between 5 and 7% (Sansing et al., 2007). This cell membrane receptor exerts critical functions in synaptic transmission and neuronal plasticity (Lau & Zukin, 2007). This disease does not always have a paraneoplastic origin, that is, symptoms that appear in

locations away from a tumor. Yet, according to the case series study published by Dalmau and colleagues (2007), 90% of patients diagnosed with anti-NMDAR encephalitis are women with ovarian tumor or teratoma. Furthermore, in 70% of the cases, the prodromal phase is characterized by a fever, headache, diarrhea, nausea, and vomiting. In subsequent stages, patients exhibit psychopathological symptoms such as anxiety, psychosis, stereotypical, and antisocial behaviors and hyperreligiosity. In advanced stages, signs include agitation, catatonia, seizures, dysautonomia, and facial dyskinesia. Additionally, patients experience a decline in cognitive (i.e., memory, attention, and language disintegration) and executive functions (i.e., working memory, fluency,

The authors report no conflicts of interest.

We thank Dr. Maria Luisa Arnedo Montoro (Professor of Neuropsychology. Department of Psychobiology, University of Granada) for her writing assistance.

Correspondence concerning this article should be addressed to / La correspondance concernant cet article doit être adressée à :
Nuria Montoro-Membila, Mind, Brain and Behaviour Research Center, University of Granada,
Courriel/e-mail: nuriamontoro@ugr.es

abstract reasoning, flexibility, planning, and problem solving) (Ferioli et al., 2010). However, it is common that some cognitive disorders such as memory deficits are difficult to detect because of reduced verbal production, which can range from speech decline to mutism (Parfene et al., 2016).

Although magnetic resonance imaging may be useful for the diagnosis of viral encephalitis and disseminated acute encephalomyelitis, approximately half of the patients with anti-NMDAR encephalitis do not have magnetic resonance imaging findings or show only mild alterations (Dale et al., 2009; Dalmau et al., 2008; Florance et al., 2009). However, the other half shows an increased signal in the magnetic resonance in the T2 or FLAIR sequences in the cerebral cortex, especially in both the medial temporal and the cerebellar cortices (Armangue et al., 2016). Abnormalities have also been described less frequently in the corpus callosum or in the brainstem, as well as in the basal ganglia (Rosenfeld & Dalmau, 2011). Positron emission tomography (PET) with fluorodeoxyglucose could show hypermetabolism in one or both temporal lobes (Dalmau et al., 2008). Therefore, the analysis of cerebrospinal fluid is an important tool for the confirmation of the diagnosis since it is abnormal in 80% of patients. Findings include moderate lymphocytic pleocytosis (i.e., increase in the level of lymphocyte predominance cells in the cerebrospinal fluid which are often associated with signs of encephalitis), hyperproteinorrachia (i.e., increase in the amount of protein in the cerebrospinal fluid), and, in 60% of patients, the presence of oligoclonal bands (i.e., proteins called immunoglobulins whose presence indicate inflammation of the central nervous system) (Dalmau et al., 2011).

According to some authors, recovery without sequelae is possible through early diagnosis and management (Herrero-Velázquez et al., 2010). However, this statement should be interpreted with caution, as most studies are focused on neurological sequelae or isolated behavioral disorders. Research on the cognitive profile of anti-NMDA encephalitis is scarce. Some evidence has provided that neuropsychological deficits may cause severe long-term disability, especially in executive functions (Iadisernia et al., 2012) and memory (Finke et al., 2012). Cognitive deficits are not always identified by routine examination, but they are generally discovered by specific evaluations some years after the onset of encephalitis. Symptoms are reported to improve with immune therapy, although neither motor nor cognitive functions returned to normalcy. Specifically, in the chronic period (i.e., > 12 months from onset), memory and executive functions disturbances have been

reported only if neuropsychological rehabilitation was not performed (Nicolle & Moses, 2018).

These findings reveal the need for further neuropsychological studies on the cognitive and emotional profile, evolution, and response to rehabilitation of patients with anti-NMDAR encephalitis. To provide an insight of these aspects of the disease, we report the case of a patient with anti-NMDAR encephalitis who underwent successive neuropsychological evaluations from the subacute phase until completion of neuropsychological rehabilitation.

Case report

Reason for admission, diagnosis, and treatment

The Ethics Committee of Biomedical Research of Granada authorized the study in compliance with the Spanish legislation on the protection of personal data (Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, 1999). The participant signed an informed consent.

We report the case of a 21-year-old woman, a vocational training student, with a history of asymptomatic Crohn's disease and bronchial asthma. The patient presented herself at a specialty hospital in Granada, Spain, in September 2011 and was admitted to the intensive care unit with a fever, headache, decreased level of consciousness, and epileptic status thus requiring sedation and intubation. Wide-spectrum antibiotic therapy was started with acyclovir and antiepileptics. Findings of several tests (cf. Table 1) led to a diagnosis of anti-NMDAR encephalitis. Specific therapy was initiated with corticosteroids and immunoglobulins followed by a bolus of rituximab, a type of antibody, half a month after admission. Cyclophosphamide, a medicine with immunosuppressive properties aimed at preventing the development, growth, or proliferation of malignant tumor cells, was initiated one month after admission. Some oophorectomy was performed for a teratoma detected in the left ovary three months after admission. The patient improved gradually during the intensive care unit stay. After weaning, the patient was transferred to the neurology unit eight months after admission.

In the neurology unit, the patient remained with eyes open, tracked objects, and smiled when spoken to. She did not react to simple commands and could not speak. Upper and lower limbs moved symmetrically and stretch reflexes were normal. The patient had equinus feet and flexor plantar reflex. Other symptoms included tremor, generalized sweating, flexed position, and limb stiffness. The heartbeat was normal. The patient tolerated

Table 1
Complementary tests

Test	Date	Result
Brain CT scan	At admission	Normal.
Brain MR scan	At admission	Normal; thickening of left mastoid cells.
EEG	At admission	Non-convulsive status; rhythmic high-amplitude delta activity coinciding with isolated myoclonus in the four asynchronous limbs, and slow vertical nystagmus; thirty seconds after the administration of diazepam, this activity disappeared, followed by a desynchronized, low-amplitude and slow-wave activity.
Blood tests	At admission	Glucose, ions, and renal function: normal; liver function: GPT 57, GGT 103; cholesterol: 158; hemoglobin: 10.8; mean corpuscular volume: 67; leukocytes: 3860 (N58%, L24%); platelets: 228000; vitamin B12 and folic acid: normal; iron: 20; ferritin: 11; transferrin: 410.
EKG	At admission	Sinus rhythm without significant alterations.
CSF	At admission	Leukocytes: 776 (99% mononuclear); glucose: 55; proteins: 29; cultures and PCR for herpes virus, cryptococcus, and mycobacteria: negative.
CSF	At admission	Leukocytes: 34 (97% mononuclear); glucose: 52; proteins: 36; cultures and PCR: negative; Ac anti-NMDA: positive (not tired).
Hip and abdominal MR	At 2 months	20x18 mm lesion in left uterine appendage suggestive of teratoma.
Anatomical pathology	At 3 months	Mature cystic teratoma with marked granulomatous reaction, and ischemic necrosis of the Wilms mamelon.
CSF	At 4 months	Positive anti-NMDA: 1/10.
CSF	At 6 months	Positive anti-NMDA: 1/100.
EEG	At 8 months	Slow base activity, low-amplitude background activity with fast rhythms.
CSF	At 9 months	Leukocytes: 3; proteins and glucose: normal; cultures and PCR: negative; pending ac anti-NMDA.
EEG	At 9 months	Slightly slow background activity with numerous fast rhythms; improvement with respect to the previous evaluation.

Note. CSF = cerebrospinal fluid; CT = computed tomography; EEG = electroencephalogram; EKG = electrocardiogram; MR = magnetic resonance.

sedestation position. Oral feeding was initiated after removal of the tracheostomy tube. The patient presented hallucinations and agitation and required quetiapine at low doses.

At discharge, the patient was conscious, oriented in person and space, and partially in time. The patient showed bradypsychia and encoding memory failures. Speech was dysarthric with occasional tachyphrasia, but with correct word finding. She understood simple commands but showed greater difficulty with complex commands. The patient exhibited muscle atrophy with normal sensitivity and bilateral foot drop.

She was transferred to a rehabilitation hospital to continue with physiotherapy and neuropsychological rehabilitation. Readmission was scheduled within six months for the administration of another bolus of cyclophosphamide and follow-up examination, electroencephalography, cognitive evaluation, and a new lumbar puncture.

Neuropsychological evaluation

Assessment of neuropsychological alterations and their evolution involves a thorough evaluation of the most relevant cognitive and emotional functions. Table 2 (cf. Annexe A) shows the functions assessed, the tests used, and outcomes nine to sixteen months after admission. The evaluation was progressively adapted to the characteristics of the patient. Some tests could not be performed during the initial evaluation due to the attention disorders of the patient. The selected tests were also adapted to the needs and availability of the evaluation center. However, the various tests used in this study have been shown to be sensitive in evaluating orientation, attention, praxis, memory, executive functions, as well as emotional processes.

Neuropsychological intervention

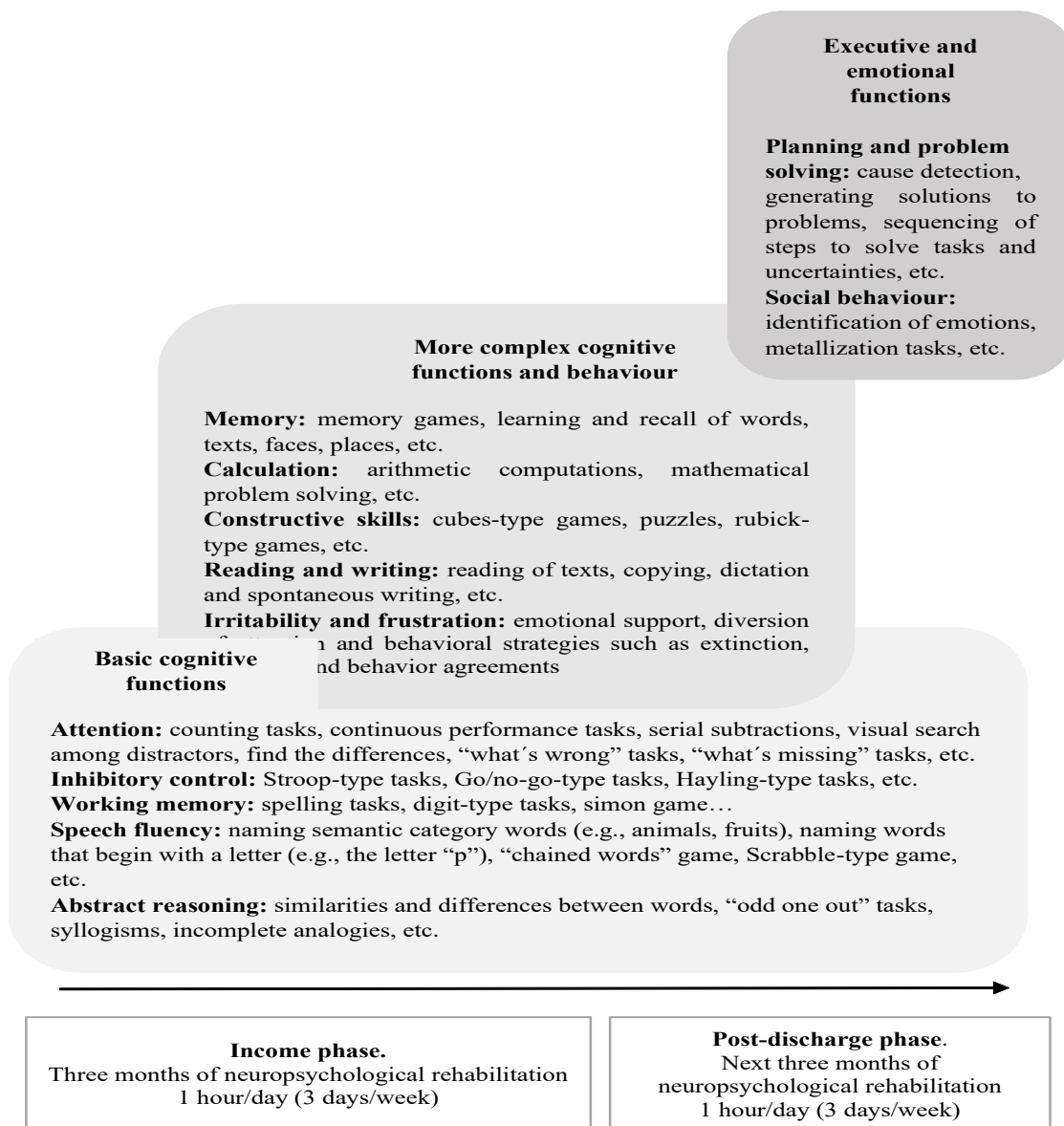
The patient received neuropsychological rehabilitation one hour a day, three days a week, during her income of three months in a rehabilitation

hospital. First, basic cognitive functions were addressed including sustained, selective, divided, and alternating attention, inhibitory control, working memory, speech fluency, and abstraction. As the evolution was favorable, since the patient showed fewer difficulties in completing the tasks administered as well as in reaching higher levels of difficulty, rehabilitation of memory, calculation, constructive skills, categorization, reading, writing, and graphomotor skills was started. The family was given some guidelines for irritability and frustration control which included emotional support, diversion of

attention, and behavioral strategies such as extinction, time-out, and behavior agreements.

Following discharge on August 2012, the patient continued with ambulatory rehabilitation for one hour a day, three days a week, for three more months. Rehabilitation was centered on planning, problem-solving skills, and social behavior. The patient was encouraged to resume her social life and studies. She started studying at home with a private tutor. Further details on the timing and design of the neuropsychological rehabilitation are shown in Figure 1.

Figure 1
Timing and design of neuropsychological rehabilitation during admission in a rehabilitation hospital in the first three months and in the post-discharge phase after three months



Note. Progression from more basic and prerequisite functions to more complex, executive, and emotional functions, as well as examples of tasks and activities used for this purpose.

Results

Initial evaluation

During the subacute phase of the disease, the patient presented severe cognitive impairment with signs of frontal-subcortical damage. Cognitive performance was dramatically below what is expected from someone of her age and level of vocational education. The initial evaluation detected: 1) very deficient sustained, selective, and alternating attention, and an impaired inhibitory control; 2) poor spontaneous language with tendency to mutism; 3) impaired visual and verbal memory, poor learning capacity with high number of perseverations and intrusions, and free recall and recognition deficits; 4) visual perceptual and visuoconstructive deficits; 5) deficits in all executive functions evaluated (i.e., working memory, fluency, abstract reasoning, flexibility, planning, and problem solving); 6) social cognition and emotional function deficits, with highly emotional lability and irritability; and 7) preserved ideomotor and spatial orientation skills.

Neuropsychological evaluation three and six months during and after the intervention

Follow-up evaluation was performed after three months in the rehabilitation hospital (i.e., during neuropsychological rehabilitation) and after six months in the specialty hospital (i.e., after the intervention finished) where evolution was confirmed to be very satisfactory. After six months, the patient had recovered an almost normal cognitive function with some mild difficulties in visual, spatial, and executive functions. More specifically, the patient showed: 1) susceptibility to interference; 2) altered visual and spatial working memory, visuoconstructive skills, and spatial and visual memory; and 3) word retrieval difficulties. Yet, a significant improvement was observed in the remaining cognitive and emotional skills. At six months, the patient had resumed her social life and studies. Yet, a significant improvement was observed in the remaining cognitive and emotional skills. At six months, the patient had resumed her social life and studies.

Discussion

NMDAR encephalitis is an autoimmune disease that causes motor and cognitive impairment. Although the disease's clinical profile is well characterized, its cognitive profile and the evolution of cognitive symptoms have not been established yet. Despite the severe cognitive and emotional alterations observed during the acute phase of NMDAR encephalitis, spontaneous recovery is consistently reported in literature. However, a few studies where a more thorough neuropsychological assessment was performed revealed the presence of mild cognitive

alterations that persist in the mid and long term. These alterations may prevent a patient's return to normal life. In fact, cognitive alterations may persist for several years after the onset of the disease (Leypoldt et al., 2013).

This case report includes the typical clinical symptoms of NMDAR encephalitis. The patient presented a severe profile of frontal-subcortical damage, with an impaired gait, psychomotor retardation, higher-function deficit (i.e., attention, speech, memory, and executive skills), and psychopathological alterations including emotional lability and irritability. In contrast with other cases previously reported (Iadisernia et al., 2012), the patient exhibited visuoconstructive and visual perceptual deficits.

These alterations are credited to the action of NMDAR on the nervous system. PET scan revealed anomalies in the temporal lobe and limbic system. Some patients present frontal atrophy and a pattern of diffuse cortical atrophy on PET and RMN (Pillai et al., 2010). Neuropsychological alterations could be associated with these findings. Amnesia could be explained by the interruption of synaptic plasticity mechanisms. These mechanisms are involved in learning and memory where NMDA receptors in the hippocampus play a crucial role (Dalmau & Rosenfeld, 2008). Delayed information processing, attention fluctuations, and alterations in speech fluency are signs of frontal-subcortical damage. In this context, early management prevents the exacerbation of cognitive deficits, which are mild at onset, but can interfere with the patient's ability to lead a normal life. Early treatments include neuropsychological rehabilitation.

Cognitive and emotional alterations improved significantly with neuropsychological interventions. These functions returned to almost normal levels earlier than in previous studies where early neuropsychological interventions were not performed (Miya et al., 2014). Although further studies are needed, neuropsychological rehabilitation seems to play a key role in achieving almost total recovery, reducing the severity of cognitive symptoms, and preventing persistence over time.

Conclusion

We described the neuropsychological profile of frontal-subcortical damage in a patient with anti-NMDAR encephalitis, which caused substantial cognitive impairment in its acute phase. Cognitive functions improved with neuropsychological rehabilitation. A multidisciplinary approach is crucial to the early diagnosis and successful recovery from NMDAR encephalitis.

Funding

This project was supported by the Fundación Pública Andaluza para la Investigación Biosanitaria en Andalucía Oriental. Data collection was supported by a grant (reference code 52015) awarded to the first author in the Complejo Hospitalario de Granada.

References

- Armangue, T., Titulaer, M. J., Málaga, I., Bataller, L., Gabilondo, I., Graus, F., & Dalmau, J. (2016). Pediatric anti-N-methyl-D-aspartate receptor encephalitis-clinical analysis and novel findings in a series of 20 patients. *The Journal of Pediatrics*, *162*, 850-856. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.10.011>
- Dale, R. C., Irani, S. R., Brilot, F., Pillai, S., Webster, R., Gill, D., Lang, B., & Vincent, A. (2009). N-methyl-D-aspartate receptor antibodies in pediatric dyskinetic encephalitis lethargica. *Annals of Neurology*, *66*, 704-709. <https://doi.org/10.1002/ana.21807>
- Dalmau, J. & Rosenfeld, M. (2008). Paraneoplastic syndromes of the CNS. *The Lancet Neurology*, *7*, 327-340. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70060-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70060-7)
- Dalmau, J., Gleichman, A. J., Hughes, E. G., Rossi, J. E., Peng, X., Lai, M., Dessain, S. K., Rosenfeld, M. R., Balice-Gordon, R., & Lynch, D. R. (2008). Anti-NMDA-receptor encephalitis: Case series and analysis of the effects of antibodies. *The Lancet Neurology*, *7*, 1091-1098. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70224-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70224-2)
- Dalmau, J., Lancaster, E., Martínez-Hernández, E., Rosenfeld, M. R., & Balice-Gordon, R. (2011). Clinical experience and laboratory investigations in patients with anti-NMDAR encephalitis. *The Lancet Neurology*, *10*, 63-74. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(10\)70253-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(10)70253-2)
- Dalmau, J., Tüzün, E., Wu, H.-Y., Masjuan, J., Rossi, J. E., Voloschin, A., Baehring, J. M., Shimazaki, H., Koide, B., King, D., Mason, W., Sansing, L. H., Dichter, M. A., Rosenfeld, M. R., & Lynch, D. R. (2007). Paraneoplastic anti-N-methyl-D-aspartate receptor encephalitis associated with ovarian teratoma. *Annals of Neurology*, *61*, 25-36. <https://doi.org/10.1002/ana.21050>
- Ferlioli, S., Dalmau, J., Kobet, C. A., Zhai, Q. J., Broderick, J. P., & Espay, A. J. (2010). Anti-N-methyl-D-aspartate receptor encephalitis. *Archives of Neurology*, *67*, 250-251. <https://doi.org/10.1001/archneurol.2009.317>
- Finke, C., Kopp, U. A., Prüss, H., Dalmau, J., Wandinger, K. P., & Ploner, C. J. (2012). Cognitive deficits following anti-NMDA receptor encephalitis. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, *83*, 195-198. <http://dx.doi.org/10.1136/jnnp-2011-300411>
- Florance, N. R., Davis, R. L., Lam, C., Szperka, C., Zhou, L., Ahmad, S., Campen, C. J., Moss, H., Peter, N., Gleichman, A. J., Glaser, C. A., Lynch, D. R., Rosenfeld, M. R., & Dalmau, J. (2009). Anti-N-methyl-D-aspartate receptor (NMDAR) encephalitis in children and adolescents. *Annals of Neurology*, *66*, 11-18. <https://doi.org/10.1002/ana.21756>
- Herrero-Velázquez, S., Guerrero-Peral, A. L., Gámez-Leyva, G., Fernández-Buey, M. N., Conde, A., Rodríguez, M., Rojo-Martínez, E., Pascual, J., Fernández-Herranz, M. R., & Dalmau-Obrador, J. (2010). Encefalitis por anticuerpos contra el receptor NMDA: Descripción de una paciente sin tumor asociado y revisión de la bibliografía. *Neurología*, *50*, 661-666. <https://doi.org/10.33588/rn.5011.2010057>
- Iadisernia, E., Battaglia, F. M., Vanadia, E., Trapolino, E., Vincent, A., & Biancheri, R. (2012). Anti-N-methyl-D-aspartate-receptor encephalitis: Cognitive profile in two children. *European Journal of Paediatric Neurology*, *16*, 79-82. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2011.09.004>
- Lau, C. G. & Zukin, R. S. (2007). NMDA receptor trafficking in synaptic plasticity and neuropsychiatric disorders. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*, 413-426. <https://doi.org/10.1038/nrn2153>
- Leyboldt, F., Gelderblom, M., Schöttle, D., Hoffmann, S., & Wandinger, K. P. (2013). Recovery from severe frontotemporal dysfunction at 3 years after N-methyl-D-aspartic acid (NMDA) receptor antibody encephalitis. *Journal of Clinical Neuroscience*, *20*, 611-613. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2012.03.036>
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (1999). Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal. Retrieved from <https://www.boe.es/eli/es/lo/1999/12/13/15>
- Miya, K., Takahashi, Y., & Mori, H. (2014). Anti-NMDAR autoimmune encephalitis. *Brain & Development*, *36*, 645-652. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2013.10.005>
- Nicolle, D. C. M. & Moses, J. L. (2018). A systematic review of the neuropsychological sequelae of people diagnosed with anti-N-methyl-D-aspartate receptor encephalitis in the acute and chronic phases. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *33*, 964-983. <https://doi.org/10.1093/arclin/acy005>
- Parfene, C., Lipira, C., Gunning, F., & Gordon-Elliot, J. S. (2016). The neurocognitive profile of anti-N-methyl-D-aspartate receptor encephalitis patient presenting with neuropsychiatric symptoms. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, *28*, 255-256. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.16020026>

- Pillai, S. C., Gill, D., Webster, R., Howman-Giles, R., & Dale, R. C. (2010). Cortical hypometabolism demonstrated by PET in relapsing NMDA receptor encephalitis. *Pediatric Neurology*, *43*, 217-220. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2010.04.019>
- Rosenfeld, M. R. & Dalmau, J. (2011). Anti-NMDA-receptor encephalitis and other synaptic autoimmune disorders. *Current Treatment Options in Neurology*, *13*, 324-332. <https://doi.org/10.1007/s11940-011-0116-y>
- Sansing, L. H., Tüzün, E., Ko, M. W., Baccon, J., Lynch, D. R., & Dalmau, J. (2007). A patient with encephalitis associated with NMDA receptor antibodies. *Nature Clinical Practice Neurology*, *3*, 291-296. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0493>

Received January 7, 2019
Revision received April 4, 2019
Accepted July 28, 2019 ■

Annexe A

Table 2
Cognitive functions, tests, and results from June 2012 to January 2013

Cognitive functions	Test	Results							
		At 9 months (specialty hospital)		At 10 months from admission (rehabilitation hospital)		At 13 months from admission (rehabilitation hospital)		At 16 months (specialty hospital)	
Cognitive screening	MSSE	DS = 16/30	Imp.	NA		NA		NA	
Orientation	In time (MSSE)	DS = 1/5	Imp.	DS = 2/5	Imp.	DS = 5/5	Normal	DS = 5/5	Normal
	In space (MSSE)	DS = 5/5	Normal	DS = 5/5	Normal	DS = 5/5	Normal	DS = 5/5	Normal
Sustained attention	Strub & black vigilance test ("A" test)	NA		DS = 0 error	Normal	DS = 0 error	Normal	NA	
Divided attention	Color trail, part B	IA		IA		DS = 0 error Time = 156 s	Imp.	DS = 2 errors Time = 103 s	Imp.
Selective attention	Trail making test, part A	DS = 2 errors Time = 155 s	Imp.	NA		NA		NA	
	Picture completion (WAIS-III)			IA		SS = 8	Normal -	SS = 15	Normal +
Alternating attention	Alternating index (Five digit test)	IA		IA		PC = 30	Normal	NA	
Interference and inhibition	Inhibition index (Five digit test)	IA		IA		PC = 10	Imp.	NA	
Ideomotor skills praxis	Ideomotor (Barcelona test)	PC > 85	Normal	PC > 85	Normal	PC > 85	Normal	PC > 85	Normal
Visual-perceptual skills praxis	Figure copy (MMSE)	DS = 0/1	Imp.	NA		NA		NA	
	Rey Complex figure test			PC = 1	Very imp.	PC = 80	Normal +	PC = 90	Normal +
Visuoconstructive praxis	Block Design (WAIS-III)	NA		IA		SS = 4	Imp.	SS = 5	Imp.
Verbal memory learning	Rey auditory verbal learning test			NA		NA		NA	
	- Learning curve	4, 6, 6, 9, 8	Normal						

Cognitive functions	Test	Results							
		At 9 months (specialty hospital)		At 10 months from admission (rehabilitation hospital)		At 13 months from admission (rehabilitation hospital)		At 16 months (specialty hospital)	
	- Immediate memory	DS = 33	Imp.						
	- Intrusions	DS = 12	Imp.						
	- Perseverations	DS = 0	Normal						
	- Delayed memory	DS = 4	Imp.						
	- Recognition (50)		Imp.						
	- False positives	DS = 0	Normal						
	- False negatives	DS = 8/13	Imp.						
	TAVEC	NA							
	- Learning curve			2, 7, 5, 11, 7	Normal	- 6, 5, 9, 13, 15	Normal	7, 9, 11, 10, 16	Normal
	- Short-term memory			DS = -2	Imp.	DS = -1	Normal	DS = -1	Normal
	- Cued short-term memory			DS = -2	Normal	- DS = 1	Normal	DS = 1	Normal
	- Long-term memory			DS = -2	Normal	- DS = 0	Normal	DS = 0	Normal
	- Cued long-term memory			DS = -5	Very imp.	DS = 0	Normal	DS = 0	Normal
	- Intrusions with cues			DS = 5	Very imp.	DS = -1	Normal	DS = -1	Normal
	- Perseverations			DS = 1	Normal	DS = 0	Normal	DS = 0	Normal
	- Recognition			DS = -4	Imp.	DS = 0	Normal	DS = 0	Normal
	- False positives			DS = 1	Normal	DS = 1	Normal	DS = 1	Normal
Visual memory	Rey complex figure test	IA		IA		PC = 1	Very imp.	PC = 1	Very imp.
Executive functions	Motor series (INECO-FS)	NA		DS = 0/3	Imp.	DS = 3/3	Normal	DS = 3/3	Normal
Motor planning									
Sensitivity to interference	Conflict index (INECO-FS)	NA		DS = 0/3	Imp.	DS = 3/3	Normal	DS = 3/3	Normal
Inhibitory control	Go/No-go task (INECO-FS)	NA		DS = 0/3	Imp.	DS = 3/3	Normal	DS = 3/3	Normal
	Hayling test (INECO-FS)			DS = 3/6	Imp.	DS = 6/6	Normal	DS = 6/6	Normal
Working memory	Digits (WAIS-III)	SS = 1	Very imp.	SS = 3	Very imp.	SS = 7	Normal	SS = 7	Normal
	Letters and numbers (WAIS-III)	IA		IA		SS = 8	Normal	NA	
	Spacial location (WMS-III)	IA		SS = 2	Very imp.	SS = 5	Imp.	SS = 8	Normal
Semantic fluency	Animals in 1 minute	DS = 5	Imp.	DS = 8	Imp.	DS = 19	Normal	DS = 18	Normal
Phonemic fluency	'p' words in 1 minute	IA		IA		DS = 8	Normal	DS = 8	Normal

Cognitive functions	Test	Results						
		At 9 months (specialty hospital)	At 10 months from admission (rehabilitation hospital)	At 13 months from admission (rehabilitation hospital)	At 16 months (specialty hospital)			
Abstraction	Similarities (WAIS-III)	NA	SS = 5	Imp.	SS = 8	Normal -	SS = 8	Normal -
Planning	Key search task (BADS)	IA	IA		Profile = 3	Normal	NA	
Categorization and flexibility	Flexibility index (Five digit test)	IA	IA		PCTL = 20	Normal -	NA	
	Wisconsin card sorting test	IA	IA				NA	
	- Categories completed				PC > 16	Normal		
	- Behavior errors				PC > 16	Normal		
	- Learning to learn				PC > 16	Normal		
	- % errors				PC = 53	Normal		
	- % perseverations				PC = 3	Imp.		
	- % perseverative errors				PC = 12	Imp.		
	- % non-perseverative errors				PC = 91	Normal		
Social cognition	Comprehension (WAIS-III)	IA	IA		SS = 4	Imp.		
	Happé strange stories test	IA	IA		DS = 2/3	Normal -	NA	
	Faux pas stories test	IA	IA		DS = 2/3	Normal -	NA	
Emotional area	NPI	IA					NA	
	- Lability			Imp.		Normal		
	- Irritability			Imp.		Normal		
	Goldberg anxiety scale	IA					PD = 4/9	Normal -
	Goldberg depression scale	IA					PD = 4/9	Imp. limit

Note. DS = direct score; IA = Impossible administration; Imp. = Impaired; NA = not administered; Normal + = Normal high; Normal - = Normal low; PC = percentile; SS = scaled score. Test abbreviations: BADS = Behavioural Assessment of Disexecutive Syndrome; INECO-FS = Institute of Cognitive Neurology-Frontal Screening; MMSE = Mini-Mental State Examination; NPI = Neuropsychiatric Inventory; TAVEC (Test auditivo verbal España-Complutense) = Spanish-Complutense Verbal Learning Test; WAIS-III = Wechsler Adult Intelligence Scale, 3rd edition; WMS-III = Wechsler Memory Scale, 3rd edition.

A multiple-case study testing the implementation of a non-aphasia-specific app into evidence-based therapy

Grégoire Python^{1,2}, Ph. D., Giulia Krethlow¹, & Daphné Chételat², M. Sc.

¹Faculty of Psychology, University of Geneva

²Neurorehabilitation Unit, Department of Clinical Neurosciences, CHUV

Digital treatments on tablet computers have become increasingly popular to deliver speech and language therapy. Practice guidelines have been proposed to successfully integrate non-aphasia-specific apps into rehabilitation, but few evidence-based reports are available yet. Three individuals with acquired language disorders trained at home with a mainstream app containing personalized material. The treatment plan was specific to each individual and supervised by a speech and language therapist. All three participants showed significant improvements in picture naming that were specific to the treated items and treatment gains were overall maintained after a couple of months. Treatments carefully designed and delivered in an app led to specific language improvements similar to those previously reported in the literature with or without technology. There is presently no proof that ready-to-go dedicated apps are more effective than this kind of mainstream app allowing the creation and adaptation of materials and tasks to evidence-based knowledge.

Keywords: aphasia, anomia, rehabilitation, technology, iPad

De plus en plus de thérapies orthophoniques sont proposées sur tablette tactile. Des recommandations ont été publiées pour intégrer des applications non spécifiques à l'aphasie dans la réhabilitation, mais il existe encore peu d'études concluantes à ce sujet. Trois personnes présentant des troubles acquis du langage se sont entraînées à domicile avec une application contenant du matériel personnalisé. Un plan de traitement spécifique élaboré pour chaque participant a été supervisé par un orthophoniste. Les trois participants ont montré des améliorations significatives en dénomination d'images, spécifiques aux items travaillés et stables après quelques mois. Des traitements élaborés soigneusement et administrés à l'aide d'une application ont engendré des progrès similaires à ceux rapportés dans la littérature avec ou sans technologie. Il n'y a actuellement aucune preuve que des applications prêtes à l'emploi soient plus efficaces que des applications permettant la création et l'adaptation du matériel et des tâches aux connaissances basées sur les preuves.

Mots-clés : aphasie, anomie, réhabilitation, technologie, iPad

Introduction

Aphasia is commonly observed after brain damage and has a substantial impact on quality of life (Lam & Wodchis, 2010). Therefore, recovery of language functions is a major challenge for people with aphasia and their entourage. In addition to traditional speech and language therapy, aphasic persons increasingly benefit from digital therapies in clinical settings or at home. Indeed, the use of technology is an amazing way of reaching adequate treatment intensity, known as a key factor of aphasia therapy effectiveness (Brady et al., 2016). Since the first group studies on computerized speech therapy published nearly thirty years ago (e.g., Stachowiak, 1994), technological devices have become incredibly popular, more affordable and are an integral part of our daily lives.

Indeed, most individuals of all ages living in developed countries now have access to high technology devices such as computers, tablets, or smartphones at home. Thanks to dedicated software directories/stores in tablets and smartphones, disseminating and installing new software or apps has never been as accessible as it is today. Moreover, combining standard treatments with technology-based self-therapy could reduce health-care costs by about half according to the estimates of a recent study conducted in the UK (Palmer et al., 2019).

In the management of aphasia, many technology-enhanced treatments have proved their effectiveness to treat anomia (Lavoie et al., 2017), but also reading and comprehension deficits (cf. Zheng et al., 2015). Besides restoring language skills, technologies can also for instance in allowing augmentative and alternative communication (Taylor et al., 2019) or by using voice recognition and word prediction to support writing (e.g., Dietz et al., 2011; Marshall et al., 2019). According to Macoir et al. (2019), the effectiveness of self-administered

Correspondence concerning this article should be addressed to / La correspondance concernant cet article doit être adressée à :

Grégoire Python, Faculty of Psychology, University of Geneva

E-mail/Courriel : gregoire.python@unige.ch

technology-based treatments depends on three factors related to 1) the treatment content; 2) the technology; and 3) the patient. Concerning treatment content, it should be implemented by a clinician to target specific objectives and ideally the software should adjust the complexity of the task to the actual performance and give appropriate feedback. In terms of technology, the software must be aphasia-friendly (i.e., adapted to language/cognitive deficits) and familiarization sessions should be provided. Finally, concerning the user, he/she must be able and motivated to use technology, and so must their environment. Contrary to presumed barriers, it seems that usage of digital speech and language therapies is limited neither by age nor by geographical remoteness (Munsell et al., 2020).

Among all technological devices on the market, tablet computers such as iPads are increasingly used in neurorehabilitation and more especially in speech and language therapy (Ameer & Ali, 2017). Some therapeutic apps are available nowadays in mainstream popular tablet app-stores and are able to improve language skills of aphasic persons (e.g., Constant Therapy app, Des Roches et al., 2015 (<https://thelearningcorp.com/constant-therapy/>); Language Therapy app, Stark & Warburton, 2018 (<https://tactustherapy.com/app/language/>); Steele et al., 2015; TalkPath Therapy app, cf. Repetto et al., 2020 (<https://therapy.aphasia.com>)). However, these ready-to-use apps are rarely customizable (e.g., training items are already chosen and might be useless for the person), they do not provide relevant settings to match the material to the underlying deficit (e.g., targeting only words of a given length) and they often are only reliably available in English. In addition, they are rather expensive thus creating inequalities in access to care. It should also be noted that several aphasia specific treatment apps are still in the research stage and not available to the community yet (e.g., Gerber et al., 2019). Personalization to individual needs and adjustment of the level of difficulty are crucial just to adhere to the therapy, as ready-to-use non-customizable apps are inevitably judged inappropriate (i.e., too easy or too difficult) by the users (Pugliese et al., 2019). As a matter of fact, it is also possible to incorporate non-aphasia-specific apps into the therapy, but the intended software must pass three filters according to Ramsberger and Messamer (2014): 1) the language filter (i.e., the tasks, the approach, and the focus must be appropriate and adapted to the language profile); 2) the non-linguistic capabilities filter (i.e., the app must be compatible with sensory, motor, and cognitive abilities); and 3) the technology filter (i.e., the user has to possess a compatible device and internet connection if applicable). In their best practice recommendations, Ramsberger and Messamer (2014) outline several non

-aphasia-specific apps that can be implemented in therapies and propose to use the app Bitsboard (<https://bitsboard.com>) to assess how aphasic people can handle an iPad. However, this app could also serve as a therapeutic tool, as it has already proved successful to improve word comprehension in French in children with developmental language disorders (cf. Durrleman et al., 2019) and possibly speech production in Chinese (cf. Hsueh-Min & Yu-Chih, 2017).

Bitsboard is a mainstream multilingual free iPad app which is not particularly designed for aphasia. According to its website, Bitsboard is an app “to learn, to teach and to play”: more than forty games are available and particular attention has been given to accessibility/settings for users with special needs. The main strength of the app is its high level of customization: training items can rapidly be constructed by choosing personal pictures (i.e., any self-made picture on the iPad or available on the internet) and linking them with a written word/sentence, a written description and self-recorded audio in any language. Items are grouped in folders named “boards”, that serve as stimuli packages for all games. Boards can be shared between users in a convenient online catalog or by email. Importantly, every game comes with plenty of parameters (e.g., number of items/repetitions, item randomization, amount and type of cues) and flexible options to automatically adjust the level of difficulty (e.g., begin with two distractors pictures and add up to six foils in the absence of errors). At the end of each game, a colorful feedback listing the failed/successful items appears alongside a success rate that is kept in the Statistics section of the app to track the progress. Currently, applications such as Bitsboard may be appropriate for a large panel of aphasic persons, given the extensive settings available to customize the app and to easily create tailored material to meet individual needs.

The aim of the present exploratory study is to test whether the app Bitsboard can be used to implement evidence-based therapies in clinical practice with French-speaking individuals. As game-based interventions are quite motivating for aphasic speakers without compromising treatment outcomes (Romani et al., 2018), it is hypothesized that Bitsboard will lead to significant improvement of language functions.

Methods

Participants

Three adults with acquired language impairments were included in the present investigation: they were attending traditional speech therapy sessions and they agreed to use the free Bitsboard app on their own iPad for self-administered training at home.

P1 is a 56-year-old man presenting with transcortical sensory aphasia following a left hemispheric stroke in middle and anterior arterial territories. One year and a half after stroke, his anomia was still moderate to severe and most likely due to the deregulation of semantic cognition. His oral speech production was fluent, but not always informative due to semantic, formal, and unrelated paraphasias, as well as dyssyntactic alterations. He also presented with deep agraphia and deep alexia. P1 benefited from intensive speech and language therapy (i.e., 5-10 hours per week) as an inpatient during the first 5 months post-stroke. Then as an outpatient, he benefited from speech and language therapy for 2 hours per week up to 1.5 years post-stroke.

P2 is a 50-year-old woman presenting with severe Broca aphasia. Two years after her left hemispheric ischemic stroke in the middle arterial territory, her writing deficit was still severe due to surface agraphia and anomia. Her oral speech production was agrammatic, with phonemic and semantic paraphasias. She also suffered from deep alexia. P2 benefited from intensive speech and language therapy (i.e., 5-8 hours per week) as an inpatient during the first 3 months post-stroke. Then as an outpatient, she benefited from speech and language therapy for 4-5 hours per week for 5 months and 2-3 hours per week up to two years post-stroke.

P3 is a 75-year-old man presenting with mild cognitive impairment due to a left fronto-temporal neurodegenerative disease under investigation. His main subjective concern was about retrieving the names and surnames of his relatives. His oral speech production was fluent and informative without anomia on verbs or common nouns. Writing and reading skills were preserved. No speech and language therapy were administered before the treatment reported here.

Materials

The material was constructed on the paid version Bitsboard Pro by speech and language therapists and then transferred to the iPad of the participant on which the free version of Bitsboard was installed. The stimuli were personalized for each participant:

For P1, 144 color photographs corresponding to common nouns from 8 semantic categories were selected in the Bank of Standardized Stimuli (Brodeur et al., 2010) and Google Images. They were divided into two lists of 72 items matched in terms of word frequency (according to New, B. & Pallier, C. (2021). Lexique. Retrieved from: www.lexique.org) and length (i.e., number of phonemes per word). Each picture was linked to a strongly associative word (e.g., plate – food), according to an online questionnaire filled in by 20 healthy controls;

For P2, 90 color photographs corresponding to common nouns were selected on Google Images and divided into two lists of 45 items matched in terms of word frequency, number of letters per item and regularity;

For P3, 32 color photographs of far relatives (list A, $n = 16$) and close relatives (list B, $n = 16$) were brought by the participant.

Treatment design

The treatment target and the tasks/games were adapted to the needs and possibilities of each participant.

For P1, the commonly defined objective was to improve the retrieval of common nouns by means of picture naming and to test whether a semantic association task in addition to picture naming could boost the gains of the treatment. Each list of 72 items was assigned to a different therapy condition (A and B below) and trained in a sequential crossover design after a multiple baseline:

The treatment tasks for list A ($n = 72$) were lexical-semantic association followed by picture naming, by means of Bitsboard games Pop Quiz (picture-word association), Review (oral picture naming), and Spelling Bee (written picture naming). P1 always began with the picture-word association task, in which he saw a picture with two written words underneath. He had to choose the word (e.g., food) semantically associated with the picture (e.g., plate) and the distractor was randomly selected by Bitsboard. Then P1 could choose to continue with oral or written picture naming. In the oral picture naming task, P1 had to name aloud the picture presented on the screen and press the screen at his own pace to hear the correct answer, before self-judging how he performed the trial (he had to choose between three color buttons: red = badly, yellow = incompletely, green = well). In the written picture naming task, P1 had to write the name of the picture presented on the screen and he could briefly see the written answer for 2 seconds by pressing a help button at any time and as often as necessary (delayed copy), with instant visual and auditory feedback if he pressed a wrong letter.

The treatment task for list B ($n = 72$) was picture naming only, with Review (oral picture naming) and Spelling Bee (written picture naming) Bitsboard games.

After two pre-tests evaluating oral picture naming of the 144 items separated by a 3-week interval, P1 trained at home first with therapy A (lexical-semantic associations + picture naming) for 18 sessions over 3 weeks, then a post-test with the 144 items to name was administered and he trained at home with therapy B

(picture naming only) for 18 sessions over 3 weeks. Right after the end of therapy B, a post-test was again administered on the 144 items, with follow-ups conducted 3 months and 1 year after the end of both therapies. During testing phases, responses were rated as correct if the target word was given within 10 seconds and self-corrections were accepted.

For P2, the commonly defined objective was to improve the retrieval of orthographic forms of common nouns. A list of 45 items was trained in a multiple baseline design with the other (untrained) list serving as control. Four Bitsboard games were practiced in random order:

Spelling Bee: written picture naming task, where the name of the picture presented on the screen has to be written, with the possibility of pressing a help button to briefly see the written answer for 2 seconds at any time and as often as necessary (delayed copy), with instant visual and auditory feedback when pressing a wrong letter.

Word Builder: anagrams of the words, where the letters must be put in the right order (n.b., distractor letters were disabled here but can also be added in the settings).

Missing Letter: written words presented with a letter missing in a random position (n.b., the game can also focus only on first, middle, or last letters depending on the settings).

Word Search: three words hidden in a grid that need to be highlighted (n.b., the size of the grid, number of words, reading direction and visual help in finding the first letter can be adapted in the settings).

After two pre-treatment assessments evaluating written picture naming of the 90 items separated by one month, P2 trained at home with list A for 20 sessions over 2.5 months. Right after the end of list A training, a post-test was administered on the 90 items with a follow-up 4 months later. During testing phases, responses were rated as correct if the target word was written correctly (even if self-corrected), without time limit.

For P3, the commonly defined objective was to improve the retrieval of proper nouns and more particularly names and surnames of relatives. The two lists were trained in a multiple baseline crossover design by means of two Bitsboard games. Within each session, P3 trained first with the Pop Quiz game consisting in matching a picture of a person's face with his/her name and surname among distractors randomly chosen by the app. Face-to-name matching began with a forced choice between 2 surnames/names and automatically adapted to the performance

of P3: after 2 consecutive correct trials, another written distractor was introduced to a maximum of 6 surnames/names presented under the picture, but in case of a mistake, one distractor was removed in the next trial. Second, P3 trained with Spelling Bee, in which he had to write the surname and the name of the depicted familiar face, with the possibility to press a help button to briefly see the written answer for 2 seconds and as often as necessary (delayed copy), with instant visual and auditory feedback when pressing a wrong letter.

After a single baseline evaluating the surname/name retrieval of the 32 people, P3 trained at home first with list A (16 far relatives) for 10 sessions over 1 month, then a post-test with the 32 faces to name was administered and he continued with list B (16 close relatives) for another 10 sessions over 1 month. Right after the end of list B training, a picture naming post-test was again administered on the 32 faces. The follow up 4 months after the therapy was conducted on the same set of 32 faces. During testing phases, P3 became 2 points if he retrieved both the surname and the name of the person and 1 point if he retrieved only one of these. Self-corrections were accepted without time limit.

Common procedure and statistical analyses

The first treatment session was entirely conducted with the participants in order to show them every exercise with multiple examples. A printed paper with very simple written procedures and corresponding iPad/Bitsboard icons was given to them after this first session. Therapy was then self-administered at home, with regular monitoring in face-to-face setting to ensure that the tasks were performed correctly and to verify how many sessions were launched at home, as well as the reached accuracy thanks to the results recorded in Bitsboard. For statistical analysis, Friedman chi square tests (for more than two time-points) and Wilcoxon signed rank tests (for two time-points) were used to evaluate the impact of the intervention. Because multiple comparisons were made on the same dataset (by pairs between the time-points), results were considered significant with an alpha criterion below $p = .01$ (i.e., $p = .05$ divided by 5) for P1 and below, $p = .017$ (i.e., $p = .05$ divided by 3) for P2 and P3, according to the conservative Bonferroni correction for family wise errors.

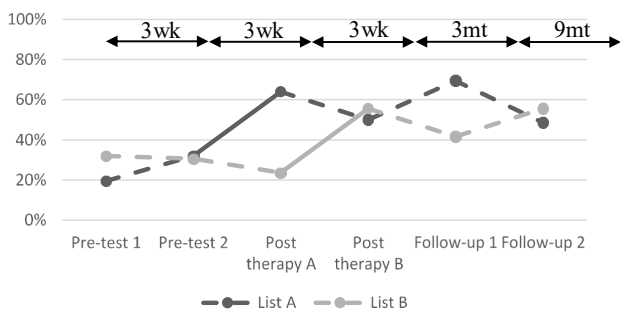
Results

For P1 (cf. Figure 1), Friedman chi square test on six time-points revealed significant changes across time for the first list / therapy A ($c2 = 28.88, p < .001$) and for the second list / therapy B ($c2 = 17.82, p = .001$). Wilcoxon signed rank tests were computed between each pair of consecutive time-points. For

the first list of 72 items (therapy A), significant positive differences were found pre- and post-treatment ($p < .001$) and between the first and the second follow-up ($p = .003$), whereas a negative difference appeared between the second and the third follow-up ($p = .007$). For the second list of 72 items (therapy B), the only difference that resisted the threshold was the treatment phase ($p < .001$). In sum, P1 showed significant improvements in picture naming, that were specific to the trained material and to the treatment phase and maintained up to one year after the end of the treatment for the second list/therapy B. Improvements for the first list/therapy A showed some variations over time.

Figure 1

P1's naming accuracy across time-points for each sequentially treated list



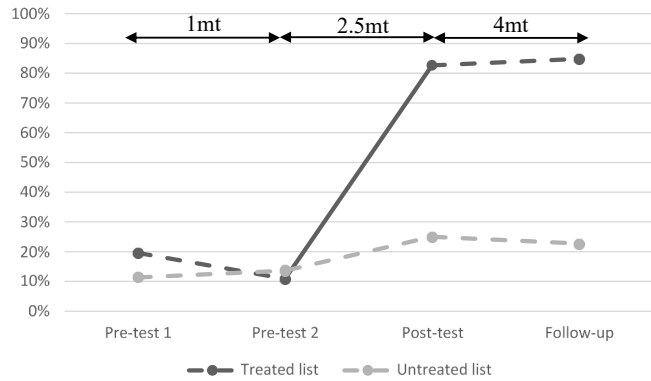
Note. Treatment phases are represented with solid lines and treatment-free periods with dashed lines; time intervals are given in weeks (wk) or months (mt).

For P2 (cf. Figure 2), Friedman chi square test revealed significant changes across time for the treated list ($c2 = 80.59, p < .001$) but not for the untreated list ($c2 = 4.13, p = .13$). Wilcoxon signed rank tests were computed between each pair of consecutive time-points for the treated condition. Changes were significant between the second pre-test and the post-test ($p < .001$), but not between the two pre-tests ($p = .23$) and neither between the post-test and the follow-up ($p = .81$). In sum, P2 showed significant improvements in picture naming, that were specific to the treated list without generalization to untreated items. Gains for the treated list were maintained 4 months after the end of therapy.

For P3 (cf. Figure 3), Friedman chi square test revealed significant changes across time for the first list ($c2 = 20.18, p < .001$) and for the second list ($c2 = 14.14, p = .003$). Wilcoxon signed rank tests were computed between each pair of consecutive time-points for the treated condition. For both lists, the only difference that resisted the threshold was the treatment phase ($p = .007$ for the first list and $p = .01$ for the second list). In sum, P3 showed significant improvements in naming persons, that were specific to the treatment phases. No generalization was found to

Figure 2

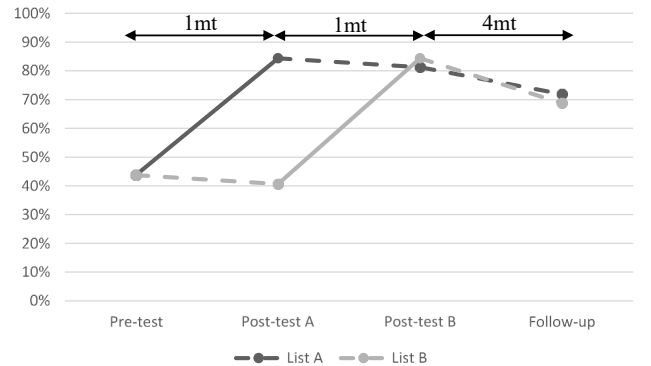
P2's naming accuracy across time-points for the treated and the untreated lists



Note. Treatment phases are represented with solid lines and treatment-free periods with dashed lines.

Figure 3

P3's naming accuracy across time-points for each sequentially treated list



Note. Treatment phases are represented with solid lines and treatment-free periods with dashed lines.

untreated items and gains were maintained 4 months after the end of the treatment.

Discussion

The aim of the present investigation was to assess if a non-aphasia-specific app was appropriate to implement evidence-based treatments in clinical practice. As P1, P2, and P3 significantly improved in naming treated items in the medium/long term, it seems that Bitsboard was an efficient tool to support self-administered speech and language therapy at home. Indeed, the three criteria predicting the success of self-administered digital treatments by Macoir et al. (2019) were met here: the treatment content was implemented by a clinician, specific and individual objectives were targeted and a certain amount of help, feedback and adjustment of difficulty level were provided. Importantly, the minimalistic user interface of Bitsboard is aphasia-friendly if the clinician hides unnecessary features and provides training sessions. All three participants were motivated and able to invest time and energy in their digital treatment. This

was even the case for P2, who was unfamiliar with tablet computers before the treatment.

For P1, gains were stable after therapy B (picture naming alone) but volatile after therapy A (which combined semantic associations and picture naming): even if immediate treatment effects were significant, accuracy decreased at the first follow-up three months post-therapy and increased again one year post-therapy. Such fluctuations could be explained by the refractory state hypothesis accounting for inconsistent performance across testing sessions in individuals with “semantic aphasia” (Warrington & McCarthy, 1983). In a more recent variant of the refractoriness hypothesis, it has been demonstrated that persons with “semantic aphasia” typically produce associative paraphasias (e.g., “hump” for “camel”), because they are struggling to inhibit strong (yet task-irrelevant) associations due to a loss of semantic control (Jefferies & Lambon Ralph, 2006). Indeed, P1 produced numerous associative paraphasias throughout the testing sessions. It was thus probably not a good option to train the matching of pictures with strong associates (e.g., bird-nest) instead of classical picture-word matching for P1. Even if some previous treatment studies using Semantic Feature Analysis (Boyle & Coelho, 1995) argued that providing semantic associations was ineffective for patients with semantic deficits (e.g., van Hees et al., 2013), another more recent randomized controlled trial with larger groups of patients was less conclusive (Kendall et al., 2019). For P1 and potentially for other individuals with semantic deregulation/control loss, picture naming seems to provide more stable improvements when practiced without adding lexical-semantic associations. Crucially, comparing these two lists/therapies with Bitsboard shed light on which type of treatment should be preferred in the future for P1.

For P2, the results showed significant and stable gains after training with four different exercises targeting the retrieval of orthographic forms in various ways. These gains were likely due to strengthening either the mapping between semantic and orthographic representations (Spelling Bee game) or the orthographic representations themselves (Word Builder, Missing Letter, and Word Search games). As P2 trained randomly with all four exercises, it is unfortunately impossible to identify which/if a particular game improved written word retrieval the most. It would be interesting for future research to tease apart the contribution of every single game from the combination of the four games.

For P3, significant and stable improvements occurred in proper noun retrieval, despite degenerative brain damage. These improvements were probably due to reinforcement of the links between semantic representations (faces) and phonological/orthographic

representations (names), with word-to-picture matching (Pop Quiz game) facilitating picture naming of the same items thereafter (Spelling Bee game).

To exemplify alternative potential uses of Bitsboard that we tested so far with other brain injured adults in clinical practice, we could successfully restore the phonological-to-graphemic conversion by means of linking each grapheme with a key word, improve word discrimination of minimal pairs, ameliorate sentence production of short utterances, and reduce verb anomia. These other examples in which we used Bitsboard are not detailed here, because the app was used in complement to parallel standard speech therapy sessions and exercises, therefore rendering impossible any conclusion about the efficacy of Bitsboard only. In addition to that, it is worth noting that Trace It game may be of great help for apraxic dysgraphia (i.e., use of a stylus to draw the letters with decreasing cues), Listen Up game for verbal short-term memory training (i.e., word span of increasing length), Say It game for picture naming or speech motor disorders with objective feedback (i.e., speech recognition feature) and Questions game to create any new exercise.

Bitsboard passes through the linguistic and non-linguistic filters mentioned by Ramsberger and Messamer (2014). Concerning the language filter, the tasks and the focus can/must be selected by the clinician and adjusted to the underlying language impairment. Regarding the non-linguistic filter, Bitsboard provides many accessibility settings to make it compatible to various brain-damaged profiles (e.g., non-target items and games can be hidden, feedbacks can be set to immediate vs. delayed, next trials can be launched automatically, swipe/tap/drag movements can alternately be selected as responses, etc.). However, the third filter about technology is the most delicate, as Bitsboard is currently only available for iOS devices (iPhones and iPads), but on the positive side it does not require an internet connection after installation – and it is free.

The present case reports suggest that it is feasible to use an app such as Bitsboard in an efficient way with brain-damaged individuals suffering from aphasia due to various etiologies (focal stroke or neurodegenerative atrophy). One limitation that deserves future attention is the lack of evaluation about the transfer to ecological situations, as a large study recently indicated that transfer to conversation settings was not straightforward after anomia therapy (Palmer et al., 2019). Another limitation of the present report concerns the sample size, like most case studies using digital therapies: large randomized control trials are welcome and could incorporate neuroimaging tools to highlight treatment-related effects at the brain

level (Choi et al., 2019) or the added value of neurostimulation techniques.

There is currently no proof that dedicated aphasia apps are more effective than mainstream apps allowing the creation of materials and task adaptations to evidence-based knowledge supervised by a clinician. Bitsboard is probably not a unique case and several other non-aphasia specific apps could be of great help in language rehabilitation, even though finding appropriate software among the millions of apps available is challenging and time-consuming. The key component is to adopt the same evidence-based reasoning than in any standard treatment implementation. Actually, most of 1.0 paper-based therapies that have proven to be effective could be adapted to 2.0 technology-based settings such as Bitsboard.

Conclusion

A free mainstream iPad app led to specific language improvements similar to those previously reported in the anomia literature with or without technology. This highly customizable app holds the potential to implement aphasia treatment in several languages. Technology is an ideal support to enhance the intensity of speech therapy and the present case reports confirm that non-aphasia apps responding to some criteria (Macoir et al., 2019) and to some filters (Ramsberger & Messamer, 2014) can support evidence-based treatments. In the future, the addition of self-administered digital therapies alongside face-to-face sessions should become the standards and will hopefully be soon referred to as “traditional” speech therapy

This publication is independent and has not been authorized, sponsored, or otherwise approved neither by Apple Inc., nor by Happy Moose Apps (Bitsboard).

References

- Ameer, K., & Ali, K. (2017). iPad use in stroke neuro-rehabilitation. *Geriatrics*, 2, 2. <https://doi.org/10.3390/geriatrics2010002>
- Boyle, M., & Coelho, C. A. (1995). Application of semantic feature analysis as a treatment for aphasic dysnomia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 4, 94-98. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0404.94>
- Brady, M. C., Kelly, H., Godwin, J., Enderby, P., & Campbell, P. (2016). Speech and language therapy for aphasia following stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 6, 1465-1858. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000425.pub4>
- Brodeur, M. B., Dionne-Dostie, E., Montreuil, T., & Lepage, M. (2010). The bank of standardized stimuli (BOSS), a new set of 480 normative photos of objects to be used as visual stimuli in cognitive research. *PLOS One*, 5, e10773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010773>
- Choi, M. J., Kim, H., Nah, H.-W., & Kang, D.-W. (2019). Digital therapeutics: Emerging new therapy for neurologic deficits after stroke. *Journal of Stroke*, 21, 242-258. <https://doi.org/10.5853/jos.2019.01963>
- Des Roches, C. A., Balachandran, I., Ascenso, E. M., Tripodis, Y., & Kiran, S. (2015). Effectiveness of an impairment-based individualized rehabilitation program using an iPad-based software platform. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1015. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01015>
- Dietz, A., Ball, A., & Griffith, J. (2011). Reading and writing with aphasia in the 21st century: Technological applications of supported reading comprehension and written expression. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 18, 758-769. <https://doi.org/10.1310/tsr1806-758>
- Durrleman, S., Burnel, M., De Villiers, J. G., Thommen, E., Yan, R., & Delage, H. (2019). The impact of grammar on mentalizing: A training study including children with autism spectrum disorder and developmental language disorder. *Frontiers in Psychology*, 10, 2478. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02478>
- Gerber, S. M., Schütz, N., Uslu, A. S., Schmidt, N., Röthlisberger, C., Wyss, P., Perny, S., Wyss, C., Koenig-Bruhin, M., Urwyler, P., Nyffeler, T., Marchal-Crespo, L., Mosimann, U. P., Müri, R. M., & Nef, T. (2019). Therapist-guided tablet-based telerehabilitation for patients with aphasia: Proof-of-concept and usability study. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 6. <https://doi.org/10.2196/13163>
- Hsueh-Min, L., & Yu-Chih, H. (2017). The effectiveness of bitsboard app in improving language expression for a child with developmental delay. *Taiwan Journal of Language and Communication Disorder*, 4, 61-87.
- Jefferies, E., & Lambon Ralph, M. A. (2006). Semantic impairment in stroke aphasia versus semantic dementia: A case-series comparison. *Brain*, 129, 2132-2147. <https://doi.org/10.1093/brain/awl153>
- Kendall, D. L., Moldestad, M. O., Allen, W., Torrence, J., & Nadeau, S. E. (2019). Phonomotor versus semantic feature analysis treatment for anomia in 58 persons with aphasia: A randomized controlled trial. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62, 4464-4482. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-L-18-0257
- Lam, J. M. C., & Wodchis, W. P. (2010). The relationship of 60 disease diagnoses and 15 conditions to preference-based health-related quality of life in Ontario hospital-based long-term care residents. *Medical Care*, 48, 380-387. <https://doi.org/10.1097/MLR.0b013e3181ca2647>

- Lavoie, M., Macoir, J., & Bier, N. (2017). Effectiveness of technologies in the treatment of post-stroke anomia: A systematic review. *Journal of Communication Disorders*, *65*, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2017.01.001>
- Macoir, J., Lavoie, M., Routhier, S., & Bier, N. (2019). Key factors for the success of self-administered treatments of poststroke aphasia using technologies. *Telemedicine and E-Health*, *25*, 663-670. <https://doi.org/10.1089/tmj.2018.0116>
- Marshall, J., Caute, A., Chadd, K., Cruice, M., Monnelly, K., Wilson, S., & Woolf, C. (2019). Technology-enhanced writing therapy for people with aphasia: Results of a quasi-randomized waitlist controlled study. *International Journal of Language & Communication Disorders*, *54*, 203-220. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12391>
- Munsell, M., De Oliveira, E., Saxena, S., Godlove, J., & Kiran, S. (2020). Closing the digital divide in speech, language, and cognitive therapy: Cohort study of the factors associated with technology usage for rehabilitation. *Journal of Medical Internet Research*, *22*. <https://doi.org/10.2196/16286>
- Palmer, R., Dimairo, M., Cooper, C., Enderby, P., Brady, M., Bowen, A., Latimer, N., Julious, S., Cross, E., Alshreef, A., Harrison, M., Bradley, E., Witts, H., & Chater, T. (2019). Self-managed, computerised speech and language therapy for patients with chronic aphasia post-stroke compared with usual care or attention control (Big CACTUS): A multicentre, single-blinded, randomised controlled trial. *The Lancet Neurology*, *18*, 821-833. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(19\)30192-9](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(19)30192-9)
- Pugliese, M., Ramsay, T., Shamloul, R., Mallet, K., Zakutney, L., Corbett, D., Dukelow, S., Stotts, G., Shamy, M., Wilson, K., Guerinet, J., & Dowlatshahi, D. (2019). RecoverNow: A mobile tablet-based therapy platform for early stroke rehabilitation. *PLOS One*, *14*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210725>
- Ramsberger, G., & Messamer, P. (2014). Best practices for incorporating non-aphasia-specific apps into therapy. *Seminars in Speech and Language*, *35*, 017-024. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1362992>
- Repetto, C., Paolillo, M. P., Tuena, C., Bellinzona, F., & Riva, G. (2020). Innovative technology-based interventions in aphasia rehabilitation: A systematic review. *Aphasiology*, 1-24. <https://doi.org/10.1080/02687038.2020.1819957>
- Romani, C., Thomas, L., Olson, A., & Lander, L. (2018). Playing a team game improves word production in poststroke aphasia. *Aphasiology*, *33*, 1-36. <https://doi.org/10.1080/02687038.2018.1548205>
- Stachowiak, F.-J. (1994). Computers in aphasia rehabilitation. In A.-L. Christensen & B. P. Uzzell (Eds.), *Institute for Research in Behavioral Neuroscience. Brain injury and neuropsychological rehabilitation: International perspectives* (pp. 133-160). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Stark, B. C., & Warburton, E. A. (2018). Improved language in chronic aphasia after self-delivered iPad speech therapy. *Neuropsychological Rehabilitation*, *28*, 818-831. <https://doi.org/10.1080/09602011.2016.1146150>
- Steele, R. D., Baird, A., McCall, D., & Haynes, L. (2015). Combining teletherapy and on-line language exercises in the treatment of chronic aphasia: An outcome study. *International Journal of Telerehabilitation*, *6*, 3-20. <https://doi.org/10.5195/IJT.2014.6157>
- Taylor, S., Wallace, S. J., & Wallace, S. E. (2019). High-technology augmentative and alternative communication in poststroke aphasia: A review of the factors that contribute to successful augmentative and alternative communication use. *Perspectives of the ASHA Special Interest Groups*, *4*, 464-473. https://doi.org/10.1044/2019_PERS-SIG2-2018-0016
- van Hees, S., Angwin, A., McMahan, K., & Copland, D. (2013). A comparison of semantic feature analysis and phonological components analysis for the treatment of naming impairments in aphasia. *Neuropsychological Rehabilitation*, *23*, 102-132. <https://doi.org/10.1080/09602011.2012.726201>
- Warrington, E. K. & Mccarthy, R. (1983). Category specific access dysphasia. *Brain*, *106*, 859-878. <https://doi.org/10.1093/brain/106.4.859>
- Zheng, C., Lynch, L., & Taylor, N. (2015). Effect of computer therapy in aphasia: A systematic review. *Aphasiology*, *30*, 1-34. <https://doi.org/10.1080/02687038.2014.996521>

Received June 27, 2020

Revision received October 20, 2020

Accepted January 4, 2021 ■

Psychometric correlates of categorization: An exploratory study

Pascal Louis¹, Marie Véronneau², Catherine Prévost² & Steven Harnad²

¹Département de psychologie, Université de Montréal, Montréal, Canada

²Département de psychologie, Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada

Recent studies have reported individual differences in the capacity to learn new categories; the differences had electrophysiological correlates. The objective of the present study was to test whether these differences reflected individual differences in cognitive traits. 15 participants (aged 20 to 30) who had participated in the prior category-learning studies agreed to take some tests of cognitive ability, including (1) the perceptual reasoning subtests of the Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-IV) and (2) the Doors & People test of visual memory. Prior category learning performance was found to be positively correlated with perceptual reasoning and with visual memory in partial correlations. These findings confirm that the differences in category learning may be linked at least in part to differences in cognitive abilities.

Keywords: intelligence, perceptual reasoning, visual memory, category learning, categorical perception

Des études récentes ont rapporté des différences individuelles dans la capacité à apprendre de nouvelles catégories. L'apprentissage des catégories possédait des corrélats électrophysiologiques. L'objectif de l'étude actuel était de tester si ces différences reflétaient des différences individuelles dans des traits. Quinze participants (entre 20 et 30 ans) qui avaient participé à des études précédentes d'apprentissage catégoriel ont accepté de participer aux sous-tests du raisonnement perceptuel du WAIS-IV et le Doors test du Doors & People test pour tester la mémoire visuelle. La performance dans la tâche d'apprentissage des catégories était corrélée positivement au raisonnement perceptuel et à la mémoire visuelle suite à des corrélations partielles. Ces résultats confirment que les différences dans l'apprentissage des catégories seraient liées, au moins en partie, à des différences cognitives.

Mots-clés : intelligence, raisonnement perceptuel, apprentissage des catégories, mémoire visuelle, perception catégorielle

Introduction

Sometimes stimuli from different categories look more different from one another than stimuli in the same category, even when the physical differences between them aren't greater than the difference observed between stimuli of the same category. This effect is called *Categorical Perception* (CP). In the case of color categories, 'Equal-sized frequency differences look much smaller and are harder to detect when they are within one color category than when they cross the boundary from one category to the other' (Harnad, 2017). Color categories are innate, but sometimes the CP effect can be caused by learning through trial and error to categorize stimuli (Goldstone & Hendrickson, 2009). In experiments on category learning, some participants succeed in learning the category and others do not. In this paper we ask 1) are there cognitive differences between the learners and non-learners; and 2) if so, what cognitive traits are linked to learning performance.

Intelligence

In category learning experiments, participants must learn to sort visual stimuli into one of two categories. This requires the ability to detect the visual features that distinguish the members (Pérez-Gay et al., 2017). The psychometric correlates of this ability may help us understand the factors underlying category learning and categorization. Potential measures are intelligence tests. Acton and Schroeder (2001) reported a positive correlation between general intelligence and sensory discrimination in several modalities (i.e., color & pitch discrimination), suggesting that discrimination and intellectual capabilities may be related to processing speed. Deary and al. (2004) found a positive correlation between several intelligence tasks and sensory discrimination tasks. They also found a correlation between the general intelligence factor and color discrimination, $r = .31$.

Prior reviews of sensory discrimination and intelligence test scores (Deary, 1994; 2001) describe a modest but consistent positive correlation between the two variables. A reanalysis (Fancher, 1985b, cited in Deary 1994) finds a positive correlation close to 1.0 between the general intelligence factors and a general discrimination factor. The relationship is more apparent in more rigorous recent studies. Sample

Correspondance concerning this article should be addressed to / La correspondance de cet article doit être adressée à :

Pascal Louis, Département de psychologie, Université de Montréal
E-mail/Courriel : pascal.louis@umontreal.ca

homogeneity was a methodological concern in earlier studies on intellectual capacities. Homogeneity must be considered; a correlation cannot be detected if there is little or no variation. Voelke and al. (2013) have proposed that the correlation between intelligence and sensory discrimination can in large part be explained by working memory. Working memory and sensory discrimination are shown to predict intelligence. However, sensory discrimination's predictive power was statistically dependent on working memory. The authors argue that working memory is solicited in both sensory discrimination tasks and intelligence tests as an explanation for the relationship.

Psychometric intelligence is correlated not only with visual discrimination but with suppression mechanisms that underlie discrimination and hence categorization. Melnick et al. (2014) report a positive correlation between visual suppression capacity and performance on subtests of the Wechsler *Adult Intelligence Scale-III*. This suppression mechanism consists of inhibiting the processing of irrelevant stimuli during sensory discrimination. These irrelevant stimuli include large moving stimuli that appear to belong to the background. Suppression was measured by the difference in accuracy in discriminating between the large stimuli and smaller ones. This difference was called the *suppression index* (SI). A positive correlation between SI and intelligence was observed. The more intelligence increases, the fewer large stimuli are processed, and the faster smaller stimuli (i.e., more relevant to image recognition) are treated. The correlation was strong, $r = .71$, in study two, and in study 1, $r = .64$. For the *Perceptual Reasoning Index* (PRI), a subtest of the *WAIS-IV* that assesses visual-motor integration, spatial processing, and fluid reasoning (Wechsler et al., 2008), the correlation was of $r = .47$. This is relevant for two reasons. First, the PRI includes the *Block Design Task*. The *Block Design Task* measures sensorimotor coordination, more specifically visuomotor coordination. According to Harnad (2017), categories are grounded in our ability to detect invariant features from our sensorimotor interactions with our environment. This would imply that sensorimotor abilities measured in intelligence subtests may play a role in category learning. Second, selectively ignoring (i.e., hence, suppressing) non-relevant features is needed to categorize stimuli. By using a part of the PRI (i.e., the *Matrix Reasoning Task*), researchers have found a correlation between intelligence subtests and visual suppression and have proposed a physiological basis for this relationship (Cook et al., 2016). *Gamma-Aminobutyric acid* (GABA), a neurotransmitter, concentration in the occipital region was correlated with both visual suppression and intelligence test performance. In category learning studies, neurophysiological data were found to be

correlated with differences between learners and non-learners and with individual learning performance in other contexts: Pérez-Gay and al. (2019) reported that patterns of *event-related potentials* (ERPs) in the occipital region distinguished learners from non-learners. An early N1 component is correlated with individual learning performance detectable in learners, but not in non-learners. The fact that a similar region of the brain is linked to both category learning and perceptual reasoning seems to support the claim that they are linked.

The correlation between visual suppression and psychometric intelligence seems to have been replicated in two studies. This is relevant to the current study as perceptual reasoning and visual suppression have also been linked to similar anatomic substrates and capacities thought to be necessary for acquiring categories.

Visual memory

Long-term memory also seems to have a relationship with categorization. Konkle and al. (2010a) suggest that long-term visual memory is involved in perceiving categories. Their task consisted of determining which stimuli had been in a previously presented set of images and which stimuli were new. Participants which stimuli had been in a previously presented set of images and which stimuli were new. Participants were less able to distinguish new items from old ones when they came from different categories than when they came from the same category. Ability to distinguish categories was also correlated with better memory for presented items (Konkle et al., 2010b). Conceptual distinctiveness was assessed by their a previously presented set of images and which stimuli were new. Participants were less able to distinguish new items from old ones when they came from different categories than when they came from the same category. Ability to distinguish categories was also correlated with better memory for presented items (Konkle et al., 2010b). Conceptual distinctiveness was assessed by the number of subtypes a given category had.

Conceptually distinct categories were recalled with less interference. Additional evidence for a link between long-term visual memory and categorization exists in studies on episodic memory. Episodic memory relates to long-term memory for specific autobiographical moments (Conway, 2009). In a review, Ashby and O'Brien (2005) state several reasons to believe category learning may rely on episodic memory. For instance, in anterograde amnesiac patients whose episodic memory was not impaired, category learning performance was normal.

This suggests that categorization doesn't just help long-term memory, it benefits from it as well. The data outlined above lends support to the hypothesis that differences in performance between learners and non-learners are due to cognitive differences. Visual memory is a factor in the perception of categories and intelligence is correlated with processes (i.e., sensory discrimination and visual suppression) required for category learning.

Objectives

Our main objective is to assess the predictiveness of psychometric measures of perceptual reasoning and long-term visual memory in visual category learning and categorical perception. Our hypotheses are 1) A higher proportion of correct responses in the category learning task will be positively correlated with the score on perceptual reasoning tasks; 2) a higher proportion of correct responses in the category learning task will be positively correlated with the total score on the visual memory task; 3) learning speed, as measured by the number of completed trial before attaining learner status, will be positively correlated with the score on perceptual reasoning tasks; 4) CP size will be positively correlated with the score on the perceptual reasoning tasks; and 5) CP size will positively correlate with the performance on the visual memory task.

Methods

Participants

A sample of 15 university students (i.e., 13 females and 2 males; age 20 to 30) who had participated in prior studies on visual categorical perception and category learning were recruited for the present study. Participants were equally distributed amongst learners, non-learners, and borderlines (i.e., participants who attained learner status but could not maintain it). None of the participants suffered from neuropsychological disorders. All participants gave their written consent before participating in the study. An ethical committee provided a certificate of ethical approbation which allowed for the current study's testing to take place. Scores for all measures were converted to *z*-scores to

look for outliers (i.e., three standard deviations beyond the mean); no outliers were found. Each participant was paid a sum of 15 dollars.

Procedure

Data from two components were combined for this study: 1) the category learning and data from prior category learning, and ABX discrimination experiments that had been conducted by other researchers in our lab from an anterior study; and 2) the direct assessment of the perceptual reasoning subtests of the *WAIS-IV* and the *Doors & People Test* to a sample of participants from the anterior study and analysing the results in relation to their prior learning performance.

To measure perceptual reasoning, we derived scores from individual subtests that constitute the PRI (i.e., *Block Design*, *Picture Completion*, *Visual Puzzles*, and *Matrix Reasoning*). For subtests with a time limit, participants were asked to answer items as quickly as they could. In *Block Design*, participants must replicate images using white and red cubes. As the task progresses, participants are given more complex structures that require using more cubes. In *Matrix Reasoning*, the participants must select an image that completes a pattern of presented images. In the *Visual Puzzle Task*, participants must identify three images that can be grouped to match a target image. In the *Picture Completion Task*, participants are instructed to find which elements of a picture are missing. Which construct was measured by each subtest is shown in Table 1.

To measure long-term visual memory, we used the *Doors* subtest of the *Doors & People Test*. Participants were asked to sit in front of a monitor and shown 12 images of doors (i.e., per set). The task consisted of two sets. Set B was harder than set A. After seeing each set, participants were shown a screen with four doors (i.e., three novel doors and one door from the set they had just been). Participants were then asked to indicate which door was previously presented. Both the total score and the scores for each individual set were computed for each participant. Each set started with two practice items.

Table 1

Psychometric measures and their measured constructs according to the WAIS-IV Technical and Interpretative Manual (4th ed.)

Measures	Constructs
<i>Block Design (WAIS-IV)</i>	Conceptual reasoning, visuospatial abilities, and visuomotor coordination
<i>Matrix Reasoning (WAIS-IV)</i>	Perceptual organization, classification, and simultaneous processing
<i>Visual Puzzles (WAIS-IV)</i>	Visuospatial aptitudes
<i>Picture Completion (WAIS-IV)</i>	Visual perception of details
<i>Doors Test (Doors & People Test)</i>	Long-term visual memory

The variables related to categorization were the category learning scores on the last 100 trials and the differences between the ABX discriminability scores (i.e., within and between categories) before and after the category learning (cf. description below). A *positive* difference in discriminability between objects in different categories was the CP variable ‘between-category separation’. A *negative* difference in discriminability between objects in the same category was the CP variable ‘within-category compression’. The number of trials it took to attain and maintain the learning criterion (i.e., 80%) was also computed as a measure of the speed of learning.

Prior learning experiments

Participants sat in front of a computer screen with a keyboard and a mouse. Experimenters placed a cap with electrodes on the participants’ heads to gather electroencephalogram (EEG) data. The task started with a set of practice trials, followed by an ABX discrimination task to assess the degree of CP. The ABX task consists of showing the participant two different texture stimuli, type A or B, one after the other, followed by a third, X, which is either identical to A or to B (i.e., hence the sequence is either ABA or ABB). The participant has to indicate whether X was A or B. Sometimes A and B are from different categories and sometimes from the same category, but the participant has not yet learned the categories at this stage. The ABX task always consisted of 48 trials.

Following the ABX task, participants did trial and error category learning with corrective feedback (i.e., 400 trials). The textures, presented one at a time, could be either “Kalamites” or “Lakamites.” Participants had to respond on each trial by pressing ‘K’ for ‘Kalamite’ or ‘L’ for ‘Lakamite’. Then there was feedback indicating whether their response had been correct or incorrect. After the 400 training trials, the ABX task is repeated. Figure 1 shows the category learning task. Figure 2 shows the ABX discrimination task.

Psychometric testing session

The session would start with *WAIS-IV* subtests to assess the PRI. The tests are always presented in the same order: first *Block Design*, then *Matrix Reasoning*, *Visual Puzzle*, *Picture Completion*, and *Doors*. Two participants completed the *Doors Test* at home after being given instructions to complete it on their own and to avoid distractions.

Analysis

The first 2 hypothesis were tested by looking at the correlations that PRI scores and *Door Test* scores have with the proportion of correct responses in the last 100 trials of the category learning task. The third hypothesis was tested by correlating PRI with the number of trials before attaining learner status. The fourth and fifth hypotheses will be tested looking at the correlations PRI scores and *Door Test* scores have with separation and compression. To assess whether the relationships between intelligence and long-term memory were independent of one another, partial correlations were used. *Doors* score was controlled in the correlation between PRI and the proportion of correct responses. PRI score was controlled in the correlation between *Doors* and the proportion of correct responses. Scores for all measures were converted to *z*-scores to look for outliers (i.e., 3 standard deviations beyond the mean); no outliers were found.

Results

Values were distributed normally (i.e., kurtosis and skewness between 2 and -2), except for separation (cf. Table 2). Separation had a kurtosis above 5 meaning it wasn’t normally distributed and couldn’t be used in further analysis. Our sample was small, making it difficult to obtain statistically significant results. Overall effect sizes were moderate.

Figure 1
ABX discrimination task

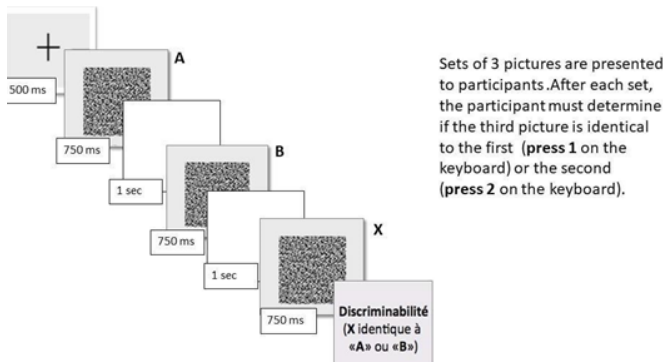


Figure 2
Learning through trial and error of binary category

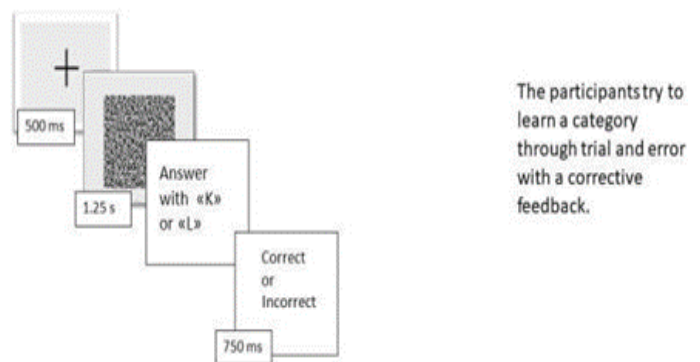


Table 2
Descriptive statistics

	<i>n</i>	Min	Max	Mean	Std. deviation	Variance	Skewness	SE	Kurtosis	SE
Perceptual reasoning index	15	66	125	102.67	15.57	242.52	-0.82	0.58	0.61	1.12
<i>Bloc Design</i> task	15	3	14	9.60	3.46	11.97	-0.47	0.58	-0.78	1.12
<i>Matrix Reasoning</i> task	15	5	18	12.33	3.18	10.10	-0.60	0.58	0.84	1.12
<i>Picture Completion</i> task	15	1	13	8.73	3.26	10.64	-0.95	0.58	0.84	1.12
<i>Visual Puzzles</i> task	15	3	12	9.07	2.71	7.35	-0.95	0.58	0.24	1.12
<i>Category Learning</i> task score (4th part)	15	0.41	0.96	0.72	0.15	0.02	-0.15	0.58	-0.23	1.12
Degree of Separation	15	-3.88	1.49	-0.53	1.21	1.47	-1.58	0.62	5.30	1.19
Degree of Compression	13	-1	1.43	0.21	0.80	0.64	-0.03	0.62	-1.32	1.19
<i>Doors</i> (set A)	13	0	13	6.38	4.75	22.59	0.08	0.62	-1.00	1.19
<i>Doors</i> (set B)	13	0	11	2.54	3.48	12.10	1.58	0.62	1.98	1.19
<i>Doors</i> (total score)	13	0	6	3.54	2.03	4.10	-0.74	0.62	-0.74	1.19
Valid <i>n</i> (listwise)	11									

Note. Min = minimum; Max = maximum; SE = standard error.

Table 3
Bivariate correlations

	PRI	PCT	BD	MRT	VP	CATL	Comp.	Sep.	<i>Doors</i> (Total)	<i>Doors</i> (set B)	<i>Doors</i> (set A)
PRI	1	.12	.92**	.93**	.67**	.49	-.42	.02	-.05	-.22	.11
PCT	.12	1	.10	.16	-.14	.43	-.13	.44	-.09	-.15	.03
BD	.92**	.10	1	.81**	.45	.49	-.46	.08	-.06	-.26	.05
MRT	.93**	.16	.81**	1	.61*	.41	-.20	-.03	-.10	-.11	-.01
VP	.67**	-.14	.45	.61*	1	.05	-.08	-.57	-.10	-.16	.15
CATL	.49	.43	.49	.41	.05	1	-.75**	.47	.48	-.20	.55
Comp	-.42	-.13	-.46	-.20	-.08	-.75**	1	-.50	-.11	.62	-.56
Sep	.02	.44	.08	-.03	-.57	.47	-.50	1	.24	-.30	.33
<i>Doors</i> (total score)	-.05	-.09	-.06	-.10	-.10	.48	-.11	.24	1	.22	.74**
<i>Doors</i> (set B)	-.22	-.15	-.26	-.11	-.16	-.20	.62	-.30	.22	1	-.45
<i>Doors</i> (set A)	.11	.03	.05	-.01	.15	.55	-.56	.33	.74**	-.45	1

Notes. BD = *Bloc Design Task*; CATL = *Category Learning Task* (4th part); Comp. = compression; MRT = *Matrix Reasoning Task*; PCT = *Picture Completion Task*; PRI = *Perceptual Reasoning Index*; Sep. = *Separation*; VP = *Visual Puzzles Task*; **p* < .05; ***p* < .01.

Table 4
Partial Correlations between category and PRI subtests

Control variable		CATL	PRI	BD	MRT	PCT	VP
<i>Doors</i> (total score)	CATL	Corrélacion	1	.65*	0.62*	.59*	.58*
		Significance (bilateral)		.02	.03	.05	.05
		df		0	10	10	10

Note. BD = *Block Design*; CATL = *Category Learning Task* (4th part); MRT = *Matrix Reasoning Task*; PCT = *Picture Completion Task*; PRI = *Perceptual Reasoning Index*; VP = *Visual Puzzles*; **p* < .05.

Table 5
Partial correlations between scores on the Doors test and Category learning

			CATL	Doors (Total)	Doors (set B)	Doors (set A)
PRI	CATL	Correlation	1	.60*	-.1	.58*
		Signification (bilateral)		.04	.76	.05
		df	0	10	10	10

Note. CATL = *Category Learning Task* (4th part); PRI = *Perceptual Reasoning Index*; * $p < .05$.

Bivariate correlations failed to reach statistical significance (cf. Table 3). However, significant associations were obtained when looking at the performance on the last learning block and the total score on Doors, $r = .602$, $p = .038$, as well as for Set A, $r = .584$, $p = .046$, after controlling for the PRI. After controlling for the total score of the *Doors* test, the PRI showed a positive correlation, $r = .646$, $p = .023$, with the last learning block as did most individual subtests: the *Bloc Design*, $r = .624$, $p = .03$, the *Matrix*, $r = .59$, $p = .045$, and *Picture Completion*, $r = .58$, $p = .05$ (cf. Table 5).

Discussion

The goal of this study was to find which cognitive capacities are associated with success in category learning. Partial correlations support our prediction, in part, of a positive correlation between learning and two constructs: long-term visual memory and perceptual reasoning. This may suggest that factors contributing to long-term visual memory perceptual reasoning (i.e., visuospatial ability, conceptual reasoning, and especially visuomotor construction) play a role in category learning ability. Due to the correlational nature of our study, it is impossible to demonstrate that the perceptual reasoning abilities measured by the PRI play a causal role in category learning. It may be that categorization plays a causal role in perceptual reasoning abilities. If categorization is grounded in detecting invariant features of our sensorimotor interactions with the environment (Harnad, 2017), this may help in the *Block Design Task* performance which employs visuomotor aptitudes and has the second strongest correlation after the PRI, when we controlled for the *Doors* 'score. It could also be that perceptual reasoning and the discrimination ability used in the categorization task both depend on processing speed; Acton and Schroder (2001) and Deary (1994, 2001) have suggested this.

Our second hypothesis was partially supported. After controlling for PRI, however, correlations for set A and the total Doors tests score became statistically significant. This may be evidence for Konkle and al.'s (2010a) suggestion that long-term memory benefits from the ability to perceive categories. Alternatively, long-term memory may be important in category learning: a better capacity to memorize the features of

category members may be useful. This is supported by the fact category learning capabilities were normal in amnesic patients with no impairments in episodic memory (Ashby & O'Brien, 2005). However, the idea of long-term memory as a distinct factor from PRI is reinforced by their different neurological substrates. The left parietal cortex is implicated in perceptual reasoning (Glascher et al., 2009) whereas the hippocampus and medial temporal are implicated in episodic memory (Tulving, 2002). The difference in correlation the Door Test performance and PRI have with category learning may be a result of the underlying physiological processes being dissimilar. The lack of significant results in set B may be a result of the low amount of variance relative to set A in the scores the participants had on this part of the task (cf. Table 2).

In conclusion, the findings suggest that intelligence, and more precisely perceptual reasoning, either share a common basis with categorization abilities or facilitates it. They also suggest that long-term visual memory may facilitate visual categorization performance. Partial correlations suggest that the relationship between Doors performance and category learning is independent of perceptual reasoning and that the correlation with perceptual reasoning is independent of the *Doors* test, but is strongest with the *Block Design*. This study provides evidence for the link between intelligence and sensory discrimination, and the role of visual memory in category learning. It also confirms the sensorimotor nature of category learning.

Limitations

We failed to control for the visual acuity of participants. It would have been worthwhile to use a test for uncorrected myopia using a distance chart, for example. Our small sample limits the statistical significance and generalizability of our findings. The sample was even smaller for the Doors test because two participants did not take part in it (i.e., due to technical problems). Information on the validity and reliability of the *Doors* test is also limited. Because our study is correlational, we can only speculate about causality. Additionally, the fact that our participants were students aged between 20 and 30 with no history

of neuropsychological impairment restrains our ability to generalize our results to a clinical population, such as Alzheimers patients. Furthermore, the greater amount of semantic knowledge of common everyday objects required in tasks such as the Doors test compared to the WAIS-IV tasks may affect the performance of individuals in certain cultures and people suffering from disorders like semantic dementia, for instance.

Categorization abilities may also help in reasoning or visual memory. Another methodological problem was that participants' keyboards in the original experimental study would occasionally disconnect from the computer, so some timeouts were wrongly recorded. Timeouts were hence excluded in the final scores for the categorization tasks.

Further research should increase the sample size and control for uncorrected visual problems. The current study only used measures of long-term memory. In the future, other forms of memory such as working memory should be examined. As it was mentioned before, previous studies have found that working memory has been shown to correlate with both discrimination ability and intelligence measures (Voelke et al., 2013). It may also be beneficial to use another test of long-term visual memory. There is little information in the literature on the reliability and validity of the Doors and People test. The lack of psychometric data on the Doors tests makes it difficult to determine how predictive it is of performance in other tasks of long-term memory, and how well its different parts and items measure the same construct. This makes it difficult to explain the difference in results in sets A and B, for instance, and how much each set is reliable and valid in the assessment of the underlying memory construct.

Conclusion

In conclusion, the findings suggest that intelligence, more precisely perceptual reasoning, either shares a common basis with categorization abilities or facilitates it. They also suggest that long-term visual memory may facilitate visual categorization performance. Partial correlations suggest that the relationship between *Doors* performance and category learning is independent of perceptual reasoning and that the correlation with perceptual reasoning is mainly due to the capacities measured by *Block Design* such as visuomotor coordination, conceptual reasoning, and visuospatial abilities. Visuospatial aptitudes may also play a role in the CP separation/compression effect.

References

- Acton, G. S., & Schroeder, D. H. (2001). Sensory discrimination as related to general intelligence. *Intelligence, 29*, 263-271.
- Ashby, F. G., & O'Brien, J. B. (2005). Category learning and multiple memory systems. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 83-89.
- Arranz-Paraiso, S., & Serrano-Pedraza, I. (2018). Testing the link between visual suppression and intelligence. *PloS one, 13*, e0200151
- Cook, E., Hammett, S. T., & Larsson, J. (2016). GABA predicts visual intelligence. *Neuroscience letters, 632*, 50-54.
- Craig, S., & Lewandowsky, S. (2012). Whichever way you choose to categorize, working memory helps you learn. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 65*, 439-464.
- Davis, C., Bradshaw, C. M., & Szabadi, E. (1999). The Doors and People Memory Test: Validation of norms and some new correction formulae. *British Journal of Clinical Psychology, 38*, 305-314.
- Deak, G. O. (2003). The development of cognitive flexibility and language abilities. *Advances in Child Development and Behavior, 31*, 271-372
- Deary, I. J., Bell, P. J., Bell, A. J., Campbell, M. L., & Fazal, N. D. (2004). Sensory discrimination and intelligence: Testing Spearman's other hypothesis. *The American Journal of Psychology, 117*, 1.
- Deary, I. J. (1994). Sensory discrimination and intelligence: Postmortem or resurrection? *The American Journal of Psychology, 107*, 95.
- Deary, I. J. (2001). Human intelligence differences: A recent history. *Trends in Cognitive Sciences, 5*, 127-130.
- Gläscher, J., Tranel, D., Paul, L. K., Rudrauf, D., Rorden, C., Hornaday, A., ... Adolphs, R. (2009). Lesion mapping of cognitive abilities linked to intelligence. *Neuron, 61*, 681-691.
- Goldstone, R. L., & Hendrickson, A. T. (2009). Categorical perception. *Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 1*, 69-78
- Harnad, S. (2017) To cognize is to categorize: Cognition is categorization. In H. Cohen & C. Lefebvre (Eds.). *Handbook of Categorization in Cognitive Science* (2nd edition). Elsevier.
- Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Phillips, C. (2007). Long-term memory for verbal and visual information in Down syndrome and Williams syndrome: Performance on the Doors and People test. *Cortex, 43*, 233-247.
- Konkle, T., Brady, T. F., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2010). Conceptual distinctiveness supports detailed visual long-term memory for real-world objects. *Journal of Experimental Psychology: General, 139*, 558.

- Konkle T., Brady T. F., Alvarez G. A., & Oliva A. (2010). Scene memory is more detailed than you think: The role of categories in visual long-term memory. *Psychological Science, 21*, 1551-1556
- Li, M. X., Rivas, D., Pérez Gay Juárez, F., Sicotte, T., & Harnad, S. (2018). Acquisition of categorical perception of Mandarin tone. *The Journal of the Acoustical Society of America, 144*, 1867-1868.
- Melnick, M. D., Harrison, B. R., Park, S., Bennetto, L., & Tadin, D. (2013). A strong interactive link between sensory discriminations and intelligence. *Current Biology, 23*, 1013-1017.
- Perez-Gay, F., Christian, T., Gregory, M., Sabri, H., Harnad, S., & Rivas, D. (2017). How and why does category learning cause categorical perception? *International Journal of Comparative Psychology, 30*, 1-32.
- Pérez-Gay Juárez, F., Sicotte, T., Thériault, C., & Harnad, S. (in press). Category learning can alter perception and its neural correlates. *PlosONE*.
- Troche, S. J., & Rammsayer, T. H. (2009). Temporal and non-temporal sensory discrimination and their predictions of capacity-and speed-related aspects of psychometric intelligence. *Personality and Individual Differences, 47*, 52-57.
- Voelke, A. E., Troche, S. J., Rammsayer, T. H., Wagner, F. L., Roebers, C. M. (2013). Sensory discrimination, working memory and intelligence in 9-year-old and 11-year-old children. *Infant and Child Development, 22*, 523-538.
- Wechsler, D., Gendron, M., Coalson, D. L., & Railford, S. E. (2008). *WAIS-IV Canadian Manual* (4th Ed.). Pearson Canadian Assessment Inc.
- Wechsler, D., Coalson, D. L., & Railford, S. E. (2008). *WAIS-IV Technical and Interpretative Manual* (4th Ed.). Pearson Canadian Assessment Inc.
- Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2009). Neural suppression of irrelevant information underlies optimal working memory performance. *Journal of Neuroscience, 29*, 3059-3066.

Received October 6, 2020
Revision received August 2, 2021
Accepted October 7, 2021

Merci à tous nos commanditaires et à nos partenaires pour leur soutien!

Thanks to all our sponsors and partners for their support!

