

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTE DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année : 2019

THÈSE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Validation préliminaire d'un outil informatique d'évaluation cognitive
(COVIRTUA) chez les patients cérébrolésés.**

Présentée et soutenue publiquement le 30 Septembre 2019 à 18 heures
au Pôle Formation
Par Alexandra FOREST

JURY

Président :

Monsieur le Professeur André THEVENON

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Luc DEFEBVRE

Madame le Professeur Kathy DUJARDIN

Monsieur le Professeur Vincent TIFFREAU

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Etienne ALLART

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations

AVC : Accident vasculaire cérébral

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

EEG : Electro-encéphalogramme

GCS : *Glasgow Coma Scale* ou Score de Glasgow

GRECogVASC : Groupe de Réflexion pour l'Évaluation Cognitive Vasculaire

GREFEX : Groupe de Réflexion sur l'Évaluation des Fonctions Exécutives

ICC : Coefficient de Corrélation Intraclasse

MEM IV : Echelle clinique de mémoire de Wechsler dans sa 4^{ème} édition

MMSE : Mini-Mental State Examination

OMS : Organisation mondiale de la Santé

SSR : Soins de Suite et Réadaptation

TAP : Test of Attentional Performance

TC : Traumatisme crânien

Table des matières

Résumé	7
Introduction	9
1. La cérébrolésion acquise et ses conséquences	9
1.1. Définitions et épidémiologie	9
1.2. Les atteintes neuropsychologiques	13
2. Les évaluations neuropsychologiques disponibles	21
2.1. Outils analytiques	21
2.2. Outils informatisés d'évaluation cognitive	26
3. Le logiciel COVIRTUA Cognition	31
4. Qualités psychométriques d'un test	32
4.1. La reproductibilité	32
4.2. La validité	32
5. Synthèse et objectifs	33
Matériels et méthodes	35
1. Patients	35
2. Design global	36
3. Evaluations	38
3.1. Evaluation par le logiciel COVIRTUA	38
3.2. Evaluations neuropsychologiques concurrentes	47
4. Analyses statistiques	54
Résultats	56
1 Sujets	56
2 Reproductibilité	58
3 Validité contre critère	60
3.1. Tests d'attention	60
3.2. Tests des fonctions exécutives	61
4 Effet de la difficulté de la tâche	63
4.1. Tests d'attention	63
4.2. Tests d'inhibition et d'interférence	64
5 Validité du construit	66
6 Retour des utilisateurs	66

Discussion	67
1 Discussion sur la méthode.....	68
1.1 Choix des tests sur COVIRTUA	68
1.2. Choix des évaluations neuropsychologiques concurrentes	70
1.3. Choix de la tablette.....	70
2 Population.....	72
2.1. Caractéristiques	72
2.2. Résultats aux épreuves neuropsychologiques concurrentes.....	74
3 Reproductibilité	75
4 Validité contre critère	77
4.1. Tests d'attention	77
4.2. Tests des fonction exécutives.....	78
5 Effet de la difficulté.....	80
6 Validité du construit.....	81
7 Limites de l'étude	82
8 Perspectives	84
Conclusion.....	86
Références bibliographiques	87

RESUME

Contexte : Les troubles cognitifs après une cérébrolésion acquise sont fréquents et représentent un facteur de mauvais pronostic de récupération fonctionnelle. L'évaluation et la rééducation des déficiences cognitives est un enjeu important de la prise en charge du patient. Les évaluations neuropsychologiques informatisées sont une modalité émergente d'évaluation cognitive, et permettraient une évaluation rapide du patient, avec des résultats automatisés et une capacité plus importante que les tests « papier-crayon » de moduler le niveau de difficulté de tests.

Méthode : Il s'agit d'une étude pilote prospective d'évaluation préliminaire de la reproductibilité, de la validité contre critère (épreuves papier crayon ou informatisées) et de la validité du construit, des subtests du logiciel COVIRTUA évaluant l'attention soutenue, l'inhibition et la mémoire de travail chez des patients ayant présenté un AVC ou un TC grave. Nous avons pour objectif secondaire de tester l'effet de facteurs de complexification de la tâche proposés par le logiciel sur la performance.

Résultats : Trente patients ont été inclus (18 AVC et 12 TC). La reproductibilité des différents tests variait de bonne à très bonne pour les variables de temps, l'ICC variait de 0.76 à 0.96 pour le temps total de passation, de 0.72 à 0.94 pour le temps de réaction. La reproductibilité variait de moyenne à bonne pour le nombre d'erreurs (ICC de 0.61 à 0.8). La validité contre critère était variable en fonction des sub-tests analysés et était globalement bonne pour les variables de temps, modérée à bonne pour la cotation des différentes erreurs. On retrouvait un effet de la difficulté pour le

barrage de pictogrammes sur COVIRTUA et avec le test d'inhibition « facile ». Il n'y avait pas de relation entre les performances sur le logiciel COVIRTUA et les données démographiques des patients (sauf pour le nombre d'erreurs au test d'ajout de configuration qui progressait avec l'âge du patient ($r = 0,418$; $p = 0,022$)). Il n'y avait pas d'effet du type et du côté de la lésion, ni de la localisation sus- ou sous-tentorielle, ni du délai depuis de la lésion. Le retour des utilisateurs était positif.

Conclusion : Le logiciel COVIRTUA possède des qualités psychométriques intéressantes. La reproductibilité et la validité du construit des différents tests sur COVIRTUA sont satisfaisantes, la validité contre critère est bonne pour les variables de temps, modérée à bonne pour la cotation des différentes erreurs. On retrouvait aussi l'effet recherché de la complexification de certaines tâches sur la performance du patient.

INTRODUCTION

1. La cérébrolésion acquise et ses conséquences

La cérébrolésion acquise est un terme désignant une lésion cérébrale qui n'est pas due à une atteinte congénitale, héréditaire ou dégénérative. Il peut s'agir, entre autres, d'un accident vasculaire cérébral, d'un traumatisme cranio-encéphalique, d'une tumeur, ou d'une infection.

1.1. Définitions et épidémiologie

1.1.1 L'accident vasculaire cérébral (AVC)

Selon l'OMS, l'accident vasculaire cérébral est défini comme "le développement rapide de signes cliniques localisés ou globaux de dysfonction cérébrale, pouvant conduire à la mort, sans autre cause apparente qu'une origine vasculaire" (1). L'étiologie peut être un infarctus pour 80 à 90 % des AVC, une hémorragie intracérébrale dans 10 à 20 % des cas, ou une hémorragie méningée qui représente moins de 2 % des AVC (2).

L'AVC est une cause majeure de handicap et de dépendance, représentant la première cause de handicap moteur acquis non traumatique chez l'adulte dans les pays industrialisés. En France, ils constituent la deuxième cause de démence après la maladie d'Alzheimer, la première cause de mortalité chez les femmes et la

troisième chez les hommes, après les cancers et les affections cardio-vasculaires (3).

On dénombre environ 130 000 nouveaux cas par an en France, avec 40 000 décès et 30 000 patients souffrant d'un handicap lourd. La mortalité après un AVC est estimée à 20% à 1 mois et 40% à 1 an. L'incidence des AVC augmente avec l'âge, et est multipliée par deux tous les dix ans après l'âge de 55 ans (4). Les AVC peuvent survenir à tout âge y compris dans l'enfance mais dans 75 % des cas ils affectent des patients de plus de 65 ans. L'âge moyen de survenue d'un AVC est de 73 ans (70 ans pour les hommes et 76 ans pour les femmes). La fréquence des récurrences est élevée et concerne 30 à 40% des patients à 5 ans (5).

A la suite d'un AVC, environ un tiers des survivants retrouvent leur état antérieur, un tiers gardent des séquelles physiques et/ou psychiques tout en restant indépendants, et un tiers des survivants deviennent dépendants (5).

Le coût socio-économique des AVC est très élevé, principalement du fait des séquelles neurologiques. Environ 30% des patients nécessiteront une prise en charge en soins de suite et de réadaptation (SSR) polyvalents ou spécialisés et seuls 73% des patients retourneront à domicile à la sortie. En fin de prise en charge en SSR, plus de 40% des patients conserveront des séquelles et une dépendance physique et/ou cognitive importante (4).

1.1.2 Le traumatisme crânien

Le traumatisme crânien correspond à la destruction ou dysfonction du tissu cérébral à la suite d'un choc de type accélération, décélération ou rotation entre le cerveau et la boîte crânienne. Il peut également être occasionné par une fracture ouverte, ou un objet pénétrant (6).

On distingue les traumatismes crâniens par leur gravité (7). Celle-ci est conditionnée par la sévérité des lésions initiales et le risque d'aggravation de celles-ci, ainsi que par la survenue de lésions secondaires dans les heures ou les jours qui suivent. La perte de conscience est la conséquence clinique la plus évidente des lésions traumatiques à la phase initiale, et constitue un critère de gravité. La profondeur du coma peut être estimée cliniquement par le Glasgow Coma Scale (GCS), échelle allant de 3 à 15. Les différents stades de gravité du traumatisme crânien selon le GCS à la phase initiale sont : grave si $GCS < 8$, modéré si $9 < GCS < 12$, léger si $GCS \geq 13$.

La population la plus touchée est celle des adultes jeunes, avec un sexe-ratio de 3 hommes pour 1 femme. Les principales causes sont les accidents de la voie publique (50-60 %), les chutes (20-30 %), les accidents de sport et loisirs (10-20 %), et les agressions (10 %). On distingue deux pics d'incidence, la catégorie d'âge la plus touchée étant celle des 15 à 25 ans lors des accidents de la voie publique. Les sujets de plus de 75 ans sont également concernés et la cause la plus fréquente est alors la chute (8). Ainsi, dans une étude de 2003 portant sur une population de 248 patients traumatisés crâniens graves en Aquitaine, l'âge moyen était de 41 ans (9).

L'incidence des traumatismes crâniens (TC) dans les pays Européens est de l'ordre de 150 000 à 300 000 nouveaux cas par an par 100 000 habitants, et les

conséquences en termes de morbi-mortalité sont importantes (10). En France, on compte environ 8000 décès et 4000 comas par an. On dénombre 8500 personnes avec un handicap de gravité moyenne, avec des séquelles physiques ou cognitives limitant leur réinsertion et 1800 personnes avec un handicap de gravité élevée, incapables de subvenir à leurs propres besoins (8).

1.1.3 Conséquences générales des cérébrolésions

L'accident vasculaire cérébral comme le traumatisme crânien sont responsables d'une mortalité élevée, comme nous l'avons précédemment soulevé. Parmi les survivants, les conséquences des cérébrolésions forment des tableaux cliniques variés, en fonction de la localisation, de l'étiologie et de la sévérité de l'atteinte. On distingue :

- Les déficiences physiques, avec des atteintes de la commande motrice volontaire, du tonus, des fonctions sensitives et visuelles et des atteintes viscérales.
- Cognitivo-comportementales, touchant un spectre plus ou moins étendu de la cognition selon les mécanismes et localisations lésionnelles.
- Thymiques.

Ces atteintes peuvent être multiples et sont responsables de limitations d'activités, de restrictions de participation et d'une altération de la qualité de vie.

1.2. Les atteintes neuropsychologiques

1.2.1. Epidémiologie

1.2.1.1 Dans l'accident vasculaire cérébral

On note une proportion élevée d'atteintes cognitives à la phase aiguë post-AVC, qui a ensuite tendance à diminuer à 3 mois de l'AVC (11). Les études portant sur les atteintes cognitives à la phase aiguë sont peu nombreuses, cependant on rapporte une prévalence pouvant aller de 49% à 96% des patients atteints de déficiences cognitives à ce stade, lorsque des tests neuropsychologiques sont utilisés (11,12). Une récupération complète est possible et concerne environ 20% des patients. Le délai de récupération est variable et peut être compris entre 1 et 6 mois (13). Ainsi, à la phase subaiguë, la prévalence des troubles cognitifs reste élevée et concerne entre 48% et 70% des patients (12,14,15). La variabilité des résultats peut être imputée aux différentes méthodes d'évaluation utilisées, ainsi qu'à la définition même de l'altération cognitive qui peut varier d'une étude à l'autre (15).

A partir du 6ème mois après l'AVC, à la phase chronique, environ 50% des patients présentent un trouble cognitif (11,16). Selon Rasquin et al., une récupération complète des capacités cognitives existe pour environ 10% des patients, 1 an après l'AVC (13). Les atteintes cognitives ont ensuite tendance à rester stable sur le long terme, et perdureront chez environ 20% à 50% des patients, plusieurs années après l'AVC (11).

Les différents domaines atteints dépendent de la localisation des lésions, et peuvent en particulier concerner la mémoire verbale, les fonctions exécutives, la vitesse de traitement de l'information, l'attention, la production verbale, la mémoire visuelle et les capacités visuo-constructives. Il peut également exister une héminégligence (17).

La nature de l'altération des fonctions cognitives est fonction du siège hémisphérique droit ou gauche de la lésion, ainsi que de sa topographie. Par exemple, l'atteinte du territoire de l'artère cérébrale moyenne droite peut être responsable de difficultés en mémoire de travail. Une lésion thalamique droite peut provoquer, entre autres, une sensibilité aux interférences, et des difficultés visuo-spatiales. Si la boucle fronto-temporale est touchée, il peut y avoir des perturbations des fonctions exécutives (13). Dans les lésions de l'hémisphère gauche, le patient peut présenter une indistinction droite-gauche, pouvant constituer au maximum, si elle est associée à une acalculie et à une agraphie, un syndrome de Gertsman (13).

1.2.1.2 Dans les traumatismes crânio-encéphaliques

A la suite d'un traumatisme crânien grave, les troubles cognitifs conditionnent en grande partie le pronostic fonctionnel du patient, notamment sa réinsertion familiale, sociale et professionnelle. Les atteintes motrices ont des conséquences limitées sur l'indépendance fonctionnelle, ce qui n'est pas le cas pour les déficiences cognitives qui occupent le premier plan et représentent alors un « handicap invisible ».

En 2014, Rabinowitz et al. estimaient que 65% des patients ayant subi un TC modéré à sévère rapportaient des difficultés cognitives à long-terme, et 43% avaient un handicap dû à une dysfonction cognitive (18). Les troubles cognitifs sont la

première cause de handicap à la suite d'un TC (13). Les TC légers sont plus rarement responsables de troubles cognitifs passés la phase aiguë post-traumatique (3 mois) (7).

L'hétérogénéité des tableaux cliniques que l'on peut rencontrer chez les patients victimes de traumatisme crânien ne permet pas de dresser un profil type d'atteinte neuropsychologique. Cependant, on peut lister les principaux troubles cognitifs retrouvés. Parmi les atteintes les plus fréquentes à la suite d'un TC grave, on répertorie les troubles de l'attention et des fonctions exécutives, les troubles du comportement, la lenteur dans le traitement de l'information, les troubles de la mémoire de travail et de la mémoire à long terme et l'anosognosie. Il peut également exister des troubles de la communication et du langage et en cognition sociale (7).

Les facteurs du pronostic de la récupération cognitive après un traumatisme crânien sont nombreux. Un jeune âge au moment du traumatisme est considéré comme un élément de meilleur pronostic. Le type de lésion cérébrale est important à considérer, les lésions focales ont un meilleur pronostic que les lésions diffuses. La durée du coma et la durée de l'amnésie post-traumatique sont de bons indicateurs du risque de séquelles cognitives (19).

1.2.2 Les troubles attentionnels

La prévalence des troubles attentionnels est la plus élevée à la phase aiguë post-AVC et peut toucher jusqu'à 30% des patients à la phase chronique (20). Les troubles de l'attention et le ralentissement du traitement de l'information sont une plainte fréquente (entre 30 à 50% des TC graves) parmi les patients après un traumatisme crânien (7).

L'attention peut être définie comme une fonction « permettant à l'individu de diriger ses actions sur des objets spécifiques en des endroits sélectionnés, et de maintenir certaines informations ou certains objets à un haut niveau de traitement, dans la mémoire de travail, ou encore dans la conscience ». L'attention peut être définie comme un filtre permettant de sélectionner des stimuli sensoriels dans l'environnement (21). Le rôle de l'attention serait donc d'optimiser le traitement de l'information et constituerait une condition préalable pour l'ensemble des fonctions cognitives. Selon le modèle de Van Zomeren et Brouwen, ce mécanisme de sélection peut s'analyser selon une dimension qualitative (sélectivité) ou quantitative (intensité) (22).

L'intensité est la dimension quantitative de l'attention, elle comprend la notion d'alerte, de vigilance, de vitesse de traitement de l'information et d'attention soutenue. L'alerte constitue une fonction de base. Elle se divise en alerte tonique et alerte phasique. L'alerte tonique correspond à l'état d'éveil d'un sujet. C'est un reflet du niveau d'activation corticale du sujet, qui varie au cours du nyctémère, et s'évalue par l'observation clinique. L'alerte phasique se mesure grâce à l'analyse des temps de réaction, et correspond à une augmentation de courte durée des ressources attentionnelles, ce qui permet d'augmenter la réactivité du sujet en prévision de la survenue d'un stimulus, généralement précédé par un signal qui annonce son arrivée (23).

La vigilance correspond à « un état de préparation à détecter et à réagir à certains changements discrets, apparaissant à des intervalles de temps variables, au sein de l'environnement ». L'évaluation de la vigilance, consiste à apprécier la capacité du patient à maintenir, de façon active et contrôlée, un niveau d'attention

adéquat lors de tâches monotones, de longue durée, ou lorsque le nombre de stimuli auquel il doit réagir est peu élevé (23).

La sélectivité correspond à la dimension qualitative de l'attention. C'est la capacité à diriger notre attention pour effectuer un choix et sélectionner les informations pertinentes, parmi d'autres informations, en fonction du but à atteindre. Elle englobe l'attention focalisée ou sélective et l'attention divisée. L'attention focalisée ou sélective est la capacité du patient à orienter son attention pour sélectionner un stimulus provenant de l'environnement en présence de distractions. Elle implique un processus de filtrage qui s'appuie notamment sur une inhibition des stimuli non pertinents. L'attention divisée est la capacité à partager son attention simultanément sur plusieurs tâches ou stimuli (23).

Les patients présentant des troubles attentionnels présentent principalement une distractibilité, un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information, une fatigabilité, des difficultés de concentration, et des difficultés en double tâche. L'attention soutenue, c'est-à-dire la capacité à rester en état d'alerte et prêt à réagir promptement à l'arrivée d'un stimulus, semble moins altérée chez les patients après un traumatisme crânien, par rapport aux autres composantes attentionnelles ((24), (25)).

Selon Van Zomeren et Brouwer, il existe un chevauchement entre la composante exécutive de l'attention et le concept plus large de fonctions exécutives. En effet, l'attention sélective nécessite une inhibition des informations non pertinentes, processus permis par les fonctions exécutives (22).

1.2.3 Les atteintes des fonctions exécutives

Nous nous intéresserons principalement aux aspects des fonctions exécutives qui feront l'objet de ce travail, notamment l'inhibition, l'interférence et la mémoire de travail.

Le terme de « fonctions exécutives » désigne l'ensemble des fonctions cognitives élaborées, intervenant dans le comportement intentionnel, organisé, volontaire, dirigé vers un but. Elles interviennent également dans la gestion des situations non routinières (26).

Le syndrome dysexécutif est une conséquence très fréquente du traumatisme crânien sévère, mais il peut également survenir après toute autre étiologie de lésion des régions frontales ou des circuits sous-cortico-frontaux. Au décours d'un AVC, 20 à 40% des patients sont susceptibles de développer une dysfonction exécutive (27). Dans une revue de littérature réalisée en 2004, Godefroy et al. (28) ont énuméré les troubles cognitifs les plus fréquemment décrits, faisant partie du syndrome dysexécutif. On distingue :

- des difficultés de génération d'informations nouvelles (Ex : déficit de fluence verbale)

- des difficultés de division de l'attention et de coordination entre deux tâches, des difficultés pour la réalisation d'activités en double-tâche.

- des difficultés pour la résolution de problèmes, la déduction de règles.

Les patients présentant un syndrome dysexécutif rencontrent fréquemment des difficultés importantes dans la vie courante, d'autant plus que ces déficits cognitifs s'associent, dans 50 à 70 % des cas, à des modifications du comportement, du

caractère et de la personnalité (29). Le syndrome dysexécutif est très invalidant et incomplètement évalué par les tests neuropsychologiques classiques « papier-crayon », en raison de leurs conditions de passation hautement structurées (26).

Les fonctions exécutives comprennent plusieurs processus, tels que l'initiation et l'inhibition d'une réponse, la résistance à l'interférence, la planification, l'élaboration de stratégies, la flexibilité mentale, la déduction de règles, la résolution de problèmes (28). L'inhibition correspond à la capacité du sujet de supprimer des cognitions ou des actions inappropriées, en fonction de son environnement ou de la tâche en cours. Ce processus permet aussi la résistance aux interférences (créées par des informations issues de l'environnement ou provenant du patient), et qui ne sont pas pertinentes en fonction du contexte. L'inhibition peut être soit consciente et contrôlée, alors le sujet peut délibérément inhiber des réponses automatiques, soit automatique ou involontaire, sous-tendue par des processus inconscients (28,30).

Dans le cas d'un déficit d'inhibition, le sujet sera incapable de s'empêcher de produire des réponses et actions inadaptées à la situation. Le patient pourra présenter une lenteur pour initier des réponses simples sur commande ou spontanément, et pour la réalisation de tâches rapides et répétitives. On remarquera aussi des difficultés pour inhiber les réponses automatiques. La logorrhée, l'agitation motrice et les persévérations sont attribuées à un dysfonctionnement de cette fonction (31).

Parmi les atteintes des fonctions exécutives, les troubles de la mémoire de travail sont fréquemment observés à la suite de diverses atteintes du système nerveux central. Le lien entre les fonctions exécutives et la mémoire de travail est étroit, et fait actuellement l'objet de nombreuses recherches. Pour certains auteurs,

les capacités de mémoire de travail se rapportent davantage au système des fonctions exécutives (28), qu'au système mnésique.

La mémoire de travail joue un rôle clé dans plusieurs activités du quotidien et son altération est donc susceptible d'avoir des répercussions majeures dans différentes sphères du fonctionnement cognitif (32). La notion de mémoire de travail désigne un système permettant le maintien temporaire des informations et leur manipulation pendant la réalisation d'une tâche cognitive plus ou moins complexe. Les capacités en mémoire de travail sont limitées concernant la quantité d'informations pouvant y être stockée, ainsi que la durée de maintien des informations. Les informations maintenues sont ensuite soit supprimées, soit enregistrées en mémoire à long terme, et le système de mémoire de travail constitue alors un filtre (28). Les capacités de mémoire de travail permettent (30) :

- la gestion de la double tâche (avec les ressources attentionnelles)

- la mise à jour : les informations devenues inutiles sont supprimées au profit d'informations plus récentes. La capacité de mise à jour est nécessaire dans les tâches de planification, ou pour l'adaptation aux changements de l'environnement.

- le stockage temporaire, la manipulation et la mise à jour des informations visuo-spatiales, des représentations mentales, des informations verbales (auditives ou visuelles).

- le maintien simultané des informations de différentes nature (auditives, visuelles, spatiales, kinesthésiques etc.).

Les atteintes cognitives après un TC ou un AVC sont donc fréquentes et de nature variée. Les atteintes attentionnelles ou des fonctions exécutives peuvent être

présentes de façon isolée ou coexister chez un même patient. Le diagnostic et la prise en charge de ces troubles représentent un enjeu majeur de la prise en charge rééducative du patient, car ils constituent un facteur de mauvais pronostic dans différents domaines de la récupération fonctionnelle.

2. Les évaluations neuropsychologiques disponibles

L'évaluation neuropsychologique représente une étape importante pour estimer la présence de déficiences cognitives après une lésion cérébrale. Elle permet de faire le diagnostic des fonctions cognitives préservées et atteintes, de déterminer la sévérité de l'atteinte et permet d'orienter la prise en charge rééducative du patient.

Lors de l'évaluation, le neuropsychologue utilise des outils normés et standardisés, spécifiques ou non à certains domaines de la cognition. Il s'agit fréquemment d'épreuves analytiques présentées sur un support « papier-crayon » ou informatisées, mais il peut également s'agir de tests « écologiques » qui proposent des activités proches de celles de la vie quotidienne.

2.1. Outils analytiques

L'ensemble des atteintes cognitives sus-décrites ont été mises en évidence lors de situations expérimentales en laboratoire, en utilisant des outils ou « tests » analytiques standardisés, le plus souvent sous forme de tests « papier-crayon ». P. Pichot a proposé en 1949, une définition du « test » : « on appelle un test mental, une situation expérimentale standardisée servant de stimulus à un comportement. Ce comportement est évalué par une comparaison statistique avec celui d'autres

individus placés dans la même situation, permettant ainsi de classer le sujet examiné soit quantitativement, soit typologiquement. » (33).

Les résultats du patient sont analysés de manière qualitative ou quantitative par rapport à des normes définies selon différents critères dont l'âge, le sexe, et le passé scolaire et professionnel, entre autres. Les tests neuropsychologiques disponibles permettent un diagnostic précis et une évaluation de la sévérité des troubles cognitifs, et ont pour la plupart de bonnes qualités psychométriques. Cependant, les évaluations neuropsychologiques classiques évaluent le patient dans un cadre structuré et normé, et ne reflètent pas toujours ses capacités dans les situations de la vie quotidienne. Aussi, il est parfois difficile de faire évoluer le niveau de difficulté des différents tests « papier-crayon ».

Le bilan des fonctions cognitives chez les patients ayant présenté une lésion cérébrale comporte principalement une évaluation analytique du langage, de la mémoire, des fonctions exécutives et de l'attention. Dans notre étude, nous nous focaliserons sur les évaluations des fonctions exécutives, et plus particulièrement sur celles concernant l'inhibition et la mémoire de travail, ainsi que sur les évaluations de l'attention sélective.

Concernant le choix des épreuves neuropsychologiques, le groupe du GRECogVASC a recensé les tests les plus fréquemment utilisés pour le diagnostic des troubles cognitifs vasculaires (34).

2.1.1 Évaluation analytique de l'attention sélective

L'attention sélective est étudiée cliniquement par différents tests, tels que le test des figures enchevêtrées ou les tests de barrages. Plusieurs versions des tests de barrage sont disponibles, en fonction de l'aspect structuré ou non de la présentation des items (barrages de Mesulam, décrits dans le paragraphe Matériel et méthodes), de l'importance de la charge mentale à maintenir en mémoire de travail (simple et double barrage de Zazzo), de l'aspect significatif des cibles à traiter (barrages de cloches) ou encore de l'aspect conditionnel du barrage à effectuer (23). Bien que certaines de ces tâches aient été plus spécifiquement élaborées pour l'étude de l'héminégligence, elles peuvent être utiles dans l'examen de l'attention (23).

On peut aussi proposer au patient des tests auditifs de dénombrement, qui permettent également d'étudier l'attention focalisée, tels que le Brief Test of Attention et l'Attentional Capacity Test. Ces épreuves sont des listes de lettres et nombres mélangés ou non, présentées oralement ou sur une bande sonore et le patient doit compter les nombres ou les lettres (35).

L'attention sélective peut également être testée informatiquement par les épreuves mesurant le temps de réaction, avec la batterie TAP par exemple.

2.1.2 Évaluation analytique des fonctions exécutives

Les principaux tests recensés et utilisés en pratique clinique pour l'évaluation des fonctions exécutives sont le test de classement de cartes de Wisconsin, les fluences verbales, le test de Stroop, le Trail Making test, le test des Tours de Londres et de Hanoï, et les séquences dynamiques (30). Nous détaillerons plus spécifiquement les tests évaluant les capacités d'inhibition et ceux évaluant la mémoire de travail.

2.1.1.1 Evaluation du déficit d'inhibition

Le test de Stroop est l'épreuve de neuropsychologie clinique la plus utilisée pour évaluer les capacités d'inhibition (28). Ce test évalue les capacités d'inhibition et de résistance à l'interférence. Il s'agit pour ce faire, de présenter au patient deux dimensions d'un même stimulus (la couleur, et le mot désignant cette couleur). Un conflit se crée entre ces deux dimensions, car l'une doit être traitée par le patient, tandis que l'autre doit simultanément être ignorée : c'est le concept d'interférence (28).

Le test de Stroop se présente sous la forme de trois planches comportant chacune une condition (lecture de mots, dénomination de couleurs et interférence). Dans la condition d'interférence, un conflit se crée lorsque l'on demande au patient de dénommer la couleur de l'encre avec laquelle le mot est écrit, alors que ce mot désigne une couleur différente. Il doit en effet inhiber la tâche de lecture, au profit de la tâche moins automatique de dénomination (28). Le temps nécessaire à la réalisation de la condition d'interférence est habituellement supérieur au temps nécessaire dans la condition de dénomination. On suppose que lorsque les deux dimensions du stimulus sont en compétition, le mot exerce un effet d'interférence sur la couleur. Cet effet est appelé « l'effet Stroop ». Plusieurs modèles existent pour rendre compte de l'effet dominant du mot sur la couleur, que nous ne détaillerons pas ici (28). La reproductibilité du test est satisfaisante, il existe un effet de l'âge dans la condition d'interférence, et cette épreuve est sensible dans le cas des traumatismes crâniens et des lésions vasculaires frontales (35).

Les difficultés d'inhibition peuvent aussi être objectivées par les tests de Go/No-go ou de réponses alternées-contrariées. Le test de Go/No-go présente au patient deux types de stimuli : l'un est un stimulus cible qui nécessite une réponse (lever la

main, appuyer sur un bouton réponse...), l'autre est un stimulus distracteur où le patient doit inhiber sa réponse. Les tests de réponses alternées-contrariées utilisent le plus souvent un stimulus sonore, et une réponse de type tapping (par exemple, au bip sonore simple, répondre par un double tapping et au bip sonore double, répondre par un simple tapping) (28).

Le test de Hayling permet d'évaluer simultanément les capacités d'inhibition et d'élaboration stratégique du sujet. On présente au patient quinze phrases auxquelles il manque le dernier mot. Pour l'étude de l'inhibition, on demande au patient de compléter chaque phrase par un mot qui rend la phrase absurde (ex : « on achète le pain chez... », réponse : « la barbe »). On mesure le temps nécessaire pour réaliser le test et le nombre d'erreurs d'inhibition (28).

2.1.1.2 Evaluation analytique de la mémoire de travail

La mémoire de travail peut être explorée par les tâches d'empan, qui évaluent le fonctionnement global de la mémoire de travail. L'examineur présente une série d'items (chiffres, lettres, mots, etc.) que le sujet doit restituer immédiatement et dans l'ordre. Le nombre d'items que le sujet peut rappeler constitue son empan mnésique (36). Ce test s'effectue selon deux conditions : à l'endroit (le sujet rappelle la série dans l'ordre de présentation) et à l'envers (le sujet rappelle la série dans l'ordre inverse de l'ordre de présentation). Le test des Cubes de Corsi, que nous ne détaillerons pas, permet également une évaluation globale de la mémoire de travail (36).

Les épreuves n-back, permettent d'évaluer l'effet de l'augmentation de la charge d'informations, sans modifier la structure de la tâche, sur les capacités en mémoire de travail. Dans ces épreuves, il est présenté au patient une chaîne de

stimuli (lettres, chiffres, etc.), à un rythme régulier. Le patient doit déterminer si le stimulus actuel correspond à un autre stimulus placé n étapes plus tôt dans la série (32). Perlstein et al. ont montré que les patients ayant présenté un TC avaient une altération de la précision des réponses, sans atteinte de la vitesse de la réponse, sauf dans le cas où la charge de stimuli augmente (2n et 3n-back) (7). Ce type d'épreuve nécessite une forte charge attentionnelle (36).

L'échelle clinique de mémoire de Wechsler dans sa 4^{ème} édition (MEM IV) propose deux sous-tests permettant d'évaluer la mémoire de travail, intitulée addition spatiale, détaillé ci-dessous, et mémoire de symboles (37).

La mémoire de travail peut être testée grâce à des évaluations informatisées, telles que celles proposées par la batterie TAP détaillée ci-dessous.

2.2. Outils informatisés d'évaluation cognitive

2.2.1 Différents outils disponibles

Les premiers tests informatiques sont apparus dans les années 1970, et il s'agissait principalement de versions informatisées de tests classiques (38). Dans les années 1980, la neuropsychologie nord-américaine a commencé à utiliser l'évaluation cognitive informatisée dans le milieu sportif et militaire en particulier, chez les patients traumatisés crâniens, grâce à des batteries d'évaluation (ANAM pour Automated Neuropsychological Assessment Metrics ; et ImPACT pour Immediate Post-concussion Assessment and Cognitive Testing). Au cours des années 1990, les développeurs de logiciels informatiques ont poursuivi la mise au point de versions informatisées de tests classiques, tels que le Test de classement de cartes de Wisconsin et le California Verbal Learning Test, entre autres. Les années 2000 ont vu l'apparition de tests informatisés accessibles par Internet,

comme le logiciel Cognifit. Puis, sont apparues les applications pour smartphone et tablette tactile (38).

Les outils d'évaluation et de remédiation cognitive sont largement utilisés dans les pays anglosaxons, Kane et al. dressent la liste de tous les outils informatisés disponibles dans leur ouvrage de 2017 (39). Dans les pays francophones, ces outils sont peu développés actuellement.

Pour l'évaluation informatisée des fonctions exécutives, nous citerons la batterie informatisée CANTAB (Robbins et al., 1994), qui est disponible sur ordinateur ou via une application pour tablette tactile. Cette batterie propose des épreuves évaluant les fonctions exécutives (épreuve de mémoire de travail spatiale, Tour de Londres et test de flexibilité conceptuelle). Cette batterie est disponible dans le commerce et a fait l'objet d'une normalisation. Sa validité a été évaluée par de nombreux travaux en imagerie fonctionnelle. La reproductibilité lors du re-test variait en fonction du subtest de moyenne à satisfaisante (28). Parmi les autres évaluations disponibles sous forme d'applications pour tablette tactile, on peut citer, de façon non exhaustive, l'échelle clinique de mémoire de Wechsler pour adultes et enfants, et le MMSE.

Parmi les outils informatisés les plus utilisés figure la batterie informatisée TAP pour « Test of Attentional Performance », aussi appelée TEA pour « Test d'Evaluation de l'Attention » (Zimmermann et Fimm, 1994), qui propose différents tests évaluant de nombreux processus attentionnels comme la vigilance, l'alerte, l'exploration visuo-spatiale et l'orientation spatiale de l'attention. Cette batterie propose également l'évaluation de fonctions exécutives telles que la flexibilité ou l'attention divisée, avec des tâches de Go/No-go, et de compatibilité stimulus-

réponse. Cette batterie est disponible dans le commerce et bénéficie d'une normalisation et d'une reproductibilité satisfaisante (40).

Il existe un nombre important d'évaluations informatisées de l'attention, et nous pouvons citer, de manière non exhaustive, la batterie FePsy (Alpherts et Alderkamp, 1995), et le California Computerized Assessment Package (CalCAP) de Miller (1996) (23,40).

2.2.2 Apport global des évaluations cognitives informatisées

Les évaluations neuropsychologiques sur différents supports informatiques (tablettes tactiles, tests en ligne et sur smartphone, réalité virtuelle etc.) représentent une modalité émergente d'évaluation cognitive (41).

A l'heure où les nouvelles technologies font partie intégrante de notre quotidien, l'évaluation, du point de vue neuropsychologique, de l'adaptation du patient à l'utilisation de ces outils informatisés au quotidien, pourrait devenir une nécessité du bilan cognitif, et ne pourra s'effectuer que grâce à des outils informatiques (44).

Il existe plusieurs avantages potentiels à ces tests informatisés, tels que la possibilité de tester un large nombre de patients rapidement, la possibilité de tester le patient à son domicile, leur disponibilité, une meilleure précision dans la mesure de tâches chronométrées ou de temps de réaction, la possibilité d'exporter les données facilement dans un but de recherche (38). Les tests informatiques peuvent aussi être vus comme participant à une démarche écologique.

L'informatisation pourrait améliorer la qualité psychométrique des tests, en améliorant la reproductibilité inter-observateur et en homogénéisant les caractéristiques de passation des tests et de calcul des scores, ce qui est parfois

difficilement réalisable avec les tests papier-crayon (38). Aussi, les résultats peuvent être automatisés, et certains logiciels proposent l'édition d'un compte rendu de façon quasi-instantanée, ce qui permet de limiter les erreurs de calcul de scores, et un retour plus rapide des résultats au participant (43).

2.2.3 Apport chez le patient cérébrolésé

Les différents auteurs s'accordent pour dire que les qualités psychométriques des évaluations informatisées (en tout cas de celles pour lesquelles nous disposons de données) ne sont pas inférieures à celles des tests classiques « papier-crayon » (44).

Pour Zimmerman et al., l'examen neuropsychologique assisté par ordinateur permet un diagnostic plus fin et précis des différents aspects de l'attention, et permet de réduire l'influence et la possibilité d'interférence d'autres déficits cognitifs (langage, mémoire, calcul, etc.) (40).

La modalité informatique permet de proposer des évaluations de certaines fonctions cognitives difficilement réalisables avec les moyens classiques, tels que des tests d'attention divisée. Elle permet d'obtenir des évaluations plus fines de certains paramètres (42) : temps de latence ou de réponse, types de stratégie engagés, champ visuel privilégié, types de stimulations privilégiées, etc. Cette amélioration des conditions d'application des tests permet de penser qu'il serait possible de discriminer des désordres cognitifs plus subtils. La modalité informatique permet par ailleurs de multiplier les conditions de passation des tests, et la charge attentionnelle et exécutive en particulier. On peut donc imaginer utiliser un test avec ses différentes variantes de façon répétée chez le même patient, sans qu'il y ait d'effet d'apprentissage (40). Aussi, la complexification des tâches permise par

l'informatique pourrait permettre de démasquer des difficultés cognitives qui n'étaient pas mises en avant lors des tests « papier-crayon ».

Les évaluations analytiques informatisées représentent une modalité intéressante d'évaluation cognitive, par leurs nombreux avantages.

2.2.4 Inconvénients des outils informatisés

Les évaluations informatisées analytiques décrites ci-dessus présentent également des inconvénients. Par exemple, elles ne permettent pas une évaluation écologique du patient (38). Les autres inconvénients que présentent les tests informatisés sont en lien avec l'évolution des programmes informatiques, qui nécessitent des mises à jour régulières et peuvent provoquer des problèmes de compatibilité entre le logiciel et l'interface. De plus, il n'existe que peu de normes par pathologie pour ces différents tests, et les qualités psychométriques des tests proposés ne sont pas toutes connues (44). Les évaluations informatisées ne laissent que peu de place à l'interaction entre le thérapeute et son patient, et il est parfois compliqué d'interrompre ou d'arrêter l'exercice en cours sans perdre les données (39). L'utilisation d'outils informatisés nécessitant une connexion Internet, soulève également la question de la protection des données et des informations médicales. Enfin, la performance d'un patient sur un test informatisé peut dépendre de la facilité avec laquelle il appréhende l'outil informatique.

3. Le logiciel COVIRTUA Cognition

Créé en 2016, ce logiciel propose des exercices d'évaluation et de remédiation cognitive, pour des patients atteints de maladies neuro-dégénératives (maladies d'Alzheimer ou de Parkinson, Sclérose en plaques) ou des patients cérébrolésés. Il est destiné aux ergothérapeutes, orthophonistes et neuropsychologues. L'application propose des exercices d'évaluation analytique des capacités de mémoire de travail visuelle et visuo-verbale, de catégorisation sémantique, d'évocation phonologique, d'inhibition, et d'attention (45). Elle propose également des activités fonctionnelles pseudo-écologiques, telles que la réalisation de courses dans un supermarché virtuel interactif, un test de d'orientation lors d'une activité de conduite automobile, la création d'une liste pour répondre à une problématique prédéfinie, et un test d'orientation sur un plan de la ville.

L'application permet au thérapeute de contrôler en amont et de modifier en temps réel l'exercice effectué par le patient, pour configurer la difficulté de la tâche. Il peut ajouter ou retirer des obstacles, faire intervenir des distracteurs, et proposer des aides au patient. Le logiciel COVIRTUA Cognition peut également être utilisé à distance, et le thérapeute peut proposer une activité à son patient via Internet (45). Son utilisation nécessite deux postes informatiques :

- le poste du thérapeute, qui exécutera la version « thérapeute » de l'application, et servira à gérer le dossier informatisé du patient, à configurer, lancer et contrôler les exercices proposés au patient.

- le poste du patient (une tablette tactile) où sera lancée la version « patient » de l'application.

Le logiciel COVIRTUA Cognition présente des caractéristiques intéressantes en termes d'évaluation et de remédiation cognitive, cependant, il n'a pas fait l'objet d'études permettant d'établir ses qualités psychométriques.

4. Qualités psychométriques d'un test

Pour connaître la valeur d'un test, il faut avoir une appréciation de ses qualités psychométriques, qui sont, entre autres, la validité et la reproductibilité. D'autres indicateurs existent, tels que la cohérence et la sensibilité au changement, que nous ne détaillerons pas dans ce paragraphe (46).

4.1. La reproductibilité

Le test doit permettre d'obtenir des résultats stables lorsque le sujet est évalué à différents moments par le même examinateur, ou par différents examinateurs, en supposant qu'il n'y ait pas eu d'évolution de son état (46).

4.2. La validité

La validité d'un test est sa capacité à évaluer ce qu'il est sensé évaluer. La validité se décompose en plusieurs sous-types qui sont : la validité d'apparence, de contenu, contre critère et la validité du construit (46).

La validité d'apparence désigne l'appréciation subjective des experts ou de son utilisateur, quant aux aspects visibles du test (modalités de réponse, longueur,

libellé des items, matériel nécessaire, disponibilité de l'outil...).

La validité de contenu désigne l'appréciation subjective des experts, de la pertinence du test vis-à-vis du phénomène étudié. Il faut que tous les domaines composant le phénomène étudié soient bien pris en compte dans l'évaluation ; et ce qui est exploré par le test doit correspondre au phénomène que l'on souhaite étudier.

La validité contre critère est étudiée par des tests statistiques. Il s'agit d'évaluer le degré de corrélation entre les résultats obtenus par le test et ceux fournis par un autre instrument de mesure du phénomène pris comme référence (« gold standard ») (46).

La validité du construit permet de dégager au mieux la signification du concept étudié en le distinguant des concepts voisins ou liés. Nous avons recherché l'existence de liens entre les résultats obtenus par les tests par le logiciel COVIRTUA et certaines variables démographiques : âge, sexe, durée d'évolution de la maladie, localisation de la lésion et niveau d'études.

5. Synthèse et objectifs

Les conséquences neuropsychologiques des cérébrolésions sont fréquentes et variées. L'existence de troubles cognitifs après une cérébrolésion est un facteur de mauvais pronostic en ce qui concerne l'autonomie, la qualité de vie et la réinsertion sociale et professionnelle du patient. Ainsi, l'évaluation et la rééducation des déficiences cognitives est un enjeu important de la prise en charge du patient après un AVC ou un traumatisme crânien grave.

Actuellement, l'évaluation neuropsychologique classique repose principalement sur des tests dits « papier-crayon » qui disposent de bonnes qualités psychométriques et permettent un diagnostic précis, et une évaluation de la sévérité

des troubles cognitifs présentés par le patient. Les évaluations neuropsychologiques sur différents supports informatiques (tablettes tactiles, tests en ligne et sur smartphone, réalité virtuelle etc.) représentent une modalité émergente d'évaluation cognitive. Ces logiciels permettraient une évaluation rapide du patient, avec des résultats automatisés et une capacité plus importante que les tests papier crayon de moduler le niveau de difficulté de tests.

Le logiciel COVIRTUA Cognition présente des caractéristiques intéressantes en termes d'évaluation et de remédiation cognitive, avec la possibilité d'évaluer et de réentraîner un certain nombre de fonctions cognitives, dans des modalités analytiques comme pseudo-écologiques, en modulant le niveau de difficultés des épreuves. Cependant, les épreuves n'ont fait l'objet d'aucune validation et l'effet des éléments destinés à majorer la difficulté des tests n'est pas démontré. Nous avons souhaité dans un premier temps nous intéresser aux tests analytiques mesurant les fonctions exécutives et l'attention sélective.

Les objectifs de cette étude étaient donc de réaliser un travail pilote pour étudier la validité des subtests du logiciel évaluant l'inhibition, la mémoire de travail et l'attention sélective chez des patients ayant présenté une lésion cérébrale acquise, en mesurant notamment la reproductibilité, la validité contre critère (épreuves papier crayon ou informatisées) et la validité du construit. Par ailleurs, nous avons pour objectif de tester l'effet de facteurs de complexification de la tâche proposés par le logiciel sur la performance.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Il s'agit d'une étude pilote prospective monocentrique de pré-validation d'un outil de mesure.

1. Patients

Les patients inclus étaient pris en charge en hospitalisation complète ou de jour au sein du service de Rééducation Neurologique Cérébrolésion de l'Hôpital Pierre Swynghedauw au CHU de Lille. La période d'inclusion s'est étendue de février à juillet 2019.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Patient âgé de 18 ans, au moins,
- ayant présenté une lésion cérébrale acquise, c'est-à-dire soit à la phase subaiguë ou chronique après un AVC (quelles qu'en soient la nature ou l'étiologie), soit après un TC grave.
- Patient ayant donné son consentement écrit pour participer à l'essai.
- Patient disposé à se conformer à toutes les procédures de l'étude.

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- Sujet incapable de recevoir une information éclairée et de donner son consentement (troubles sévères du jugement en rapport avec une atteinte cognitive, psycho-comportementale ou langagière),

- Coopération insuffisante pour permettre la réalisation du protocole (troubles sévères en rapport avec une atteinte cognitive, psycho-comportementale ou langagière),
- Antécédents de pathologie neurologique cérébrale préalable,
- Troubles de l'acuité visuelle et auditive non corrigés,
- Présence d'une négligence spatiale unilatérale (sur la base du test des cloches (nombre d'omission >6) et de bissection de lignes (Déviation > 6,5mm pour le barrage de la ligne de 20cm).

Une information orale était délivrée au patient, qui disposait d'un délai de réflexion. Le consentement écrit de participation à l'étude était signé par chaque patient avant l'inclusion.

2. Design global

L'étude comportait deux visites, réalisées à 1 semaine d'intervalle (Figure 1). Lors de la première visite, les sujets bénéficiaient d'une évaluation par le logiciel COVIRTUA et par les différents tests concurrents (validité contre critère). La seconde évaluation, réalisée à 7 ± 3 jours, était destinée à mesurer la reproductibilité de l'évaluation par COVIRTUA, si bien que seule cette dernière était réalisée.

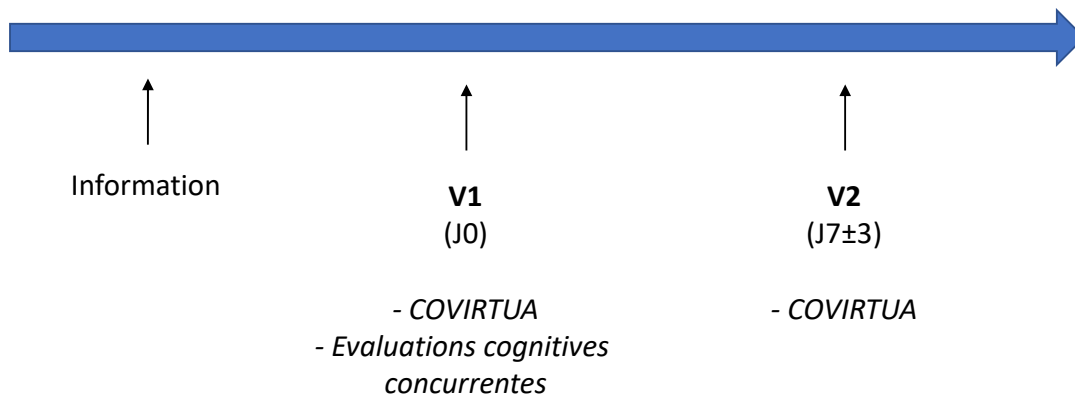


Figure 1 : Design global de l'étude

L'évaluation avec le logiciel COVIRTUA était effectuée dans une pièce calme et bien éclairée. Le patient était assis face à la tablette, qui était disposée sur une table, en position verticale sur son support, dans le sens de la largeur et à distance confortable pour le patient. Il s'agissait d'une tablette Microsoft SurfacePro, avec un système d'exploitation Windows 8.1 Professionnel et un écran de 12 pouces. Le patient portait ses dispositifs de correction visuelle ou auditifs habituels s'il en avait. L'examineur se positionnait en face du patient, et son propre ordinateur (permettant de configurer et lancer les tests) était placé devant lui.

Neuf tests ont été présentés au patient (cf. infra), et l'évaluation totale durait entre 45 minutes et 1 heure. Avant de débiter l'évaluation, on informait le patient des modalités d'utilisation de la tablette tactile s'il n'y était pas familiarisé. Avant le début de chaque test, le logiciel affiche une consigne à l'écran et une consigne orale complémentaire était également fournie, afin de s'assurer de la bonne compréhension du patient. Pendant le test, l'examineur suivait l'évolution du test mais ne modifiait pas ses paramètres. Le logiciel COVIRTUA générait et enregistrait automatiquement les résultats de chaque test, qui pouvaient être exportés ensuite, en format PDF par exemple.

L'évaluation neuropsychologique permettant de recueillir les données des évaluations concurrentes était conduite par l'une de quatre neuropsychologues du service (Mme HACHE, Mme PERON, Mme ZEROUKHI ou Mme CABARET). L'évaluation neuropsychologique était réalisée lors de la première visite, dans une pièce calme, bien éclairée, et durait entre 1 heure et 1h30.

3. Evaluations

3.1. Evaluation par le logiciel COVIRTUA

3.1.1 Evaluations de l'Attention

COVIRTUA dispose d'un test de barrage qui permet d'évaluer l'attention sélective. Nous avons choisi de présenter au patient quatre configurations de ce test : deux barrages de lettres, et deux barrages de pictogrammes. La consigne affichée à l'écran par le logiciel avant le début du test était « Désignez l'élément demandé ».

Le patient devait cliquer sur l'écran tactile de la tablette pour faire disparaître chaque cible. L'affichage de la cible était permanent au cours du test, dans un bandeau en haut de l'écran (figure 2). Une fois que toutes les cibles étaient identifiées, une nouvelle planche était mise en place automatiquement. Le choix des cibles était aléatoire et automatisé. Dix planches successives ont été présentées au patient pour chaque configuration du test, soit 40 planches au total. Chaque planche comportait 20% de cibles, qui étaient disposées dans une grille de 7x15 en format paysage.

Pour les tests de barrages de lettres, le patient devait identifier la cible qui était une lettre majuscule, parmi d'autres lettres majuscules. Dans la configuration intitulée « barrage de lettres facile », la disposition était structurée (en grille), et aucune animation, aucun décor ou musique de fond n'était actif. La configuration «

barrage de lettres difficile »était identique et une musique de fond était ajoutée en guise de distracteur (figure 2).

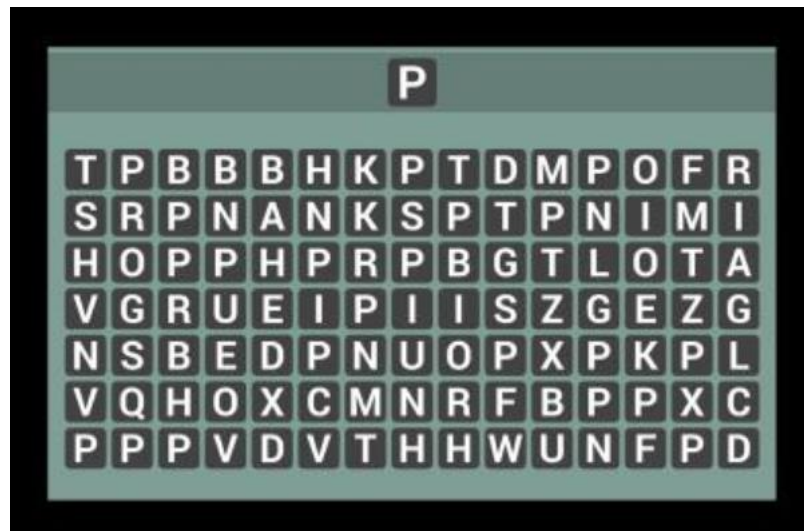


Figure 2 : Barrage de lettres (45).

Pour les tests de barrages de pictogrammes, le patient devait identifier la cible, qui était un pictogramme, parmi d'autres pictogrammes. Les pictogrammes pouvaient être de couleur différente d'un tirage à l'autre.

Dans la configuration intitulée « barrage de pictogrammes facile », la disposition était structurée et aucune animation, aucun décor ou musique de fond n'était actif (Figure 3A).

Dans la configuration « barrage de pictogrammes difficile », on sélectionnait une animation des éléments qui engendrait un déplacement continu et aléatoire des pictogrammes sur l'écran (Figure 3B).

Les données recueillies étaient :

- le temps total de passation de chaque test en secondes,
- le temps moyen entre 2 réponses (deux barrages) en secondes,
- le nombre d'erreurs.

Une erreur était comptabilisée automatiquement si le patient sélectionnait un élément autre que la cible sur l'écran. COVIRTUA ne permet pas de recueillir les omissions (les cibles doivent toutes être barrées pour passer à la planche suivante).

3.1.2 Evaluation des fonctions exécutives

3.1.2.1 Inhibition et interférence

Le test intitulé « le bon chiffre » permet d'évaluer les capacités d'inhibition et d'interférence. C'est un test de comptage basé sur le principe de l'effet Stroop. Nous avons choisi de présenter au patient trois configurations de ce test. La consigne affichée à l'écran avant chaque test était « Indiquez le nombre de carrés ». Les éléments à dénombrer étaient des formes carrées disposées au centre de l'écran, en forme de dé allant de 1 à 6 carrés. Au centre de chaque carré figurait un chiffre. Le chiffre était identique dans chaque carré d'un même tirage, et pouvait varier de façon aléatoire d'un tirage à l'autre. Le patient devait dénombrer le nombre de carrés affichés à l'écran, tout en inhibant le chiffre inscrit en son centre. Lorsque le patient donnait sa réponse, l'examineur passait au tirage suivant, et il n'était pas possible de revenir en arrière. Quarante tirages ont été proposés pour chaque configuration du test. Le logiciel propose quatre modalités d'interférence, qui peuvent être conjugués.

La configuration intitulée « le bon chiffre facile », ne comportait qu'une interférence par affichage de chiffre aléatoire, avec un chiffre par carré, telle que décrite ci-dessus. Le patient devait dénombrer les carrés, en inhibant le chiffre qui figurait au centre de chaque carré (figure 4A).



Figure 4A : Test d'inhibition et d'interférence sur COVIRTUA, modalité « facile » (45).

La configuration « le bon chiffre moyen » comportait l'interférence par affichage de chiffres, telle que décrite ci-dessus, et une interférence de forme. L'interférence de forme faisait apparaître à l'écran une forme parasite, parmi les carrés disposés à l'écran, et comprise dans la disposition en dé. La forme parasite était toujours un rond comportant un chiffre en son centre. Ce chiffre était identique à celui que comportaient les carrés. D'un tirage à l'autre, un ou plusieurs ronds pouvaient être présentés à l'écran, de façon aléatoire et automatique. Dans cette configuration, le patient devait inhiber les chiffres, comme dans la configuration précédente et il devait également ne pas tenir compte des formes parasites. La fréquence choisie d'affichage des formes parasites était « modérée » (figure 4B).

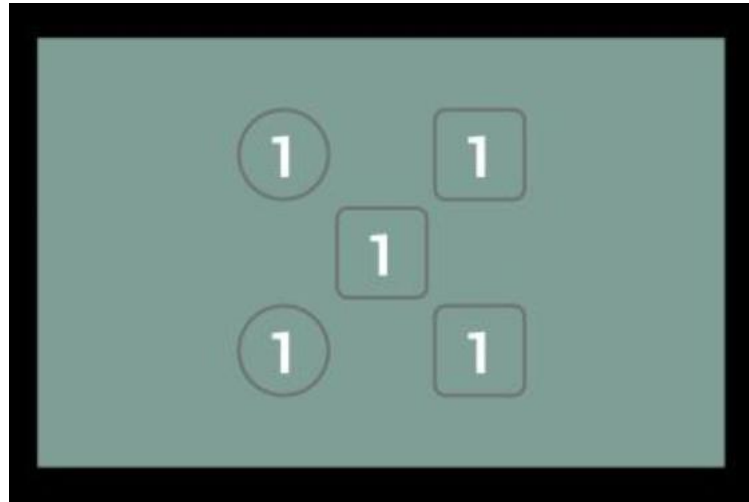


Figure 4B : Test d'inhibition et d'interférence sur COVIRTUA, modalité « moyen »
(45).

La configuration « le bon chiffre difficile » comportait en plus des deux précédentes interférences, une interférence par un indiçage vocal erroné, qui se manifestait par une voix qui annonçait régulièrement des chiffres parasites différents. Les chiffres parasites étaient annoncés à intervalle de temps régulier au cours de chaque tirage, et dès le début du tirage. Différents chiffres étaient annoncés au cours d'un tirage, sans l'intervention de l'examineur. Le patient devait donc inhiber les chiffres au centre de chaque forme, les formes parasites (ronds) et une voix qui annonçait un chiffre aléatoire.

Les données recueillies étaient :

- le temps total de passation de chaque configuration du test en secondes,
- le temps de réaction du patient en secondes,
- le nombre d'erreurs non corrigées,
- et le nombre d'auto-corrections réalisées par le patient, lorsqu'il se rendait compte de son erreur.

3.1.2.2 Mémoire de travail

La mémoire de travail a été évaluée par deux types de tests : une tâche de N-back et une autre d'addition de configuration (ces deux tests évaluant la mémoire de travail visuelle).

La tâche de N-Back est dénommée ainsi dans COVIRTUA. Nous avons choisi de présenter au patient une configuration de ce test. La consigne affichée à l'écran avant chaque test était « Retenez, et annoncez ! ». Dans notre étude, le patient devait mémoriser un chiffre affiché en bas de l'écran, qu'il devait ensuite signifier lorsque le chiffre suivant lui était présenté (N-1), et ainsi de suite (figure 5). Lorsque le patient donnait sa réponse, l'examineur passait au tirage suivant, et il n'était pas possible de revenir en arrière. Vingt-cinq chiffres ont été présentés au patient. Aucun distracteur, aucun décor ni musique de fond n'était sélectionné.

Les données recueillies étaient :

- le nombre d'erreurs
- le temps total de passation du test



Figure 5 : Test de mémoire de travail N-back, écran thérapeute (45).

L'exercice « ajout de configuration » a également été présenté en une seule version. Le logiciel propose une familiarisation comportant des exemples visuels, avant le démarrage du test, et des explications orales complémentaires ont été fournies par l'examineur. Dans ce test, le patient devait mémoriser deux configurations de formes géométriques marquées d'une couleur, puis les restituer en les superposant.

Pour chaque tirage, le logiciel proposait au patient deux séries de conformations de formes géométriques (conformation de 10 cercles, 10 carrés ou 10 triangles). Les conformations géométriques étaient identiques entre les deux séries, et variait de façon aléatoire entre chaque tirage. Dans la première série, une couleur mettait en évidence une partie de la conformation, et dans la deuxième série, la même couleur mettait en évidence une partie différente de celle-ci. Les séries étaient affichées à l'écran l'une après l'autre, pendant quelques secondes chacune, afin que le patient puisse les mémoriser. Au terme des deux séries, le logiciel présentait au patient une configuration géométrique identique aux deux précédentes, mais sans

aucune couleur. Une consigne apparaissait : « Où s'est affichée cette couleur ? ». Le patient devait alors indiquer dans la grille vierge, toutes les cases qui contenaient la couleur dans les deux configurations géométriques présentées, comme s'il les superposait. Il sélectionnait les cases en cliquant sur l'écran tactile, et pouvait se corriger en cliquant de nouveau sur la case sélectionnée. Une fois que le patient était satisfait de sa réponse, il actionnait une touche « valider » en bas à droite de l'écran.

Le test comportant 10 tirages. La complexité des configurations était moyenne, composée aléatoirement d'une grille de 3x3, d'une configuration de 10 cercles, 10 carrés ou d'une configuration de 10 triangles (figures 6A, 6B et 6C). Dans l'entraînement comme dans le test, le patient ne devait retenir qu'une seule couleur et il n'y avait pas de couleurs parasites. Aussi, aucun décor ni musique de fond n'était sélectionné.

Les données recueillies étaient :

-le nombre d'erreurs.

Une erreur était comptée si la configuration remplie par le patient était fausse ou incomplète.

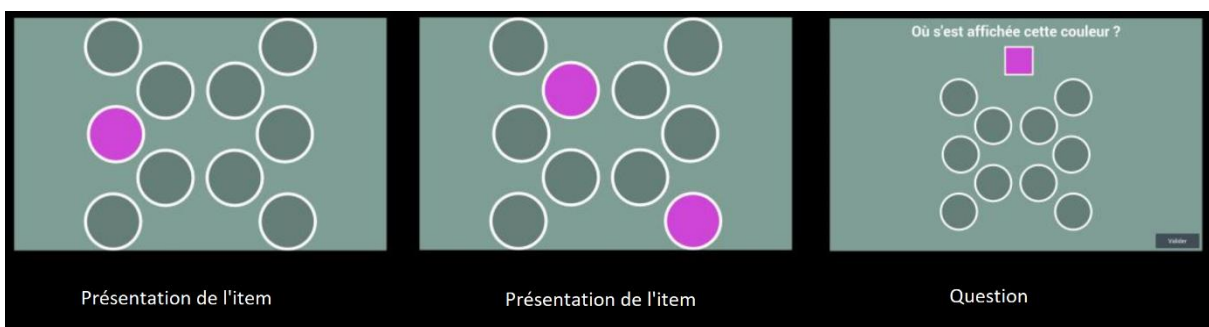


Figure 6A : Test de mémoire de travail « ajout de configuration » du logiciel COVIRTUA, proposant un exemple de conformation de 10 cercles (45).

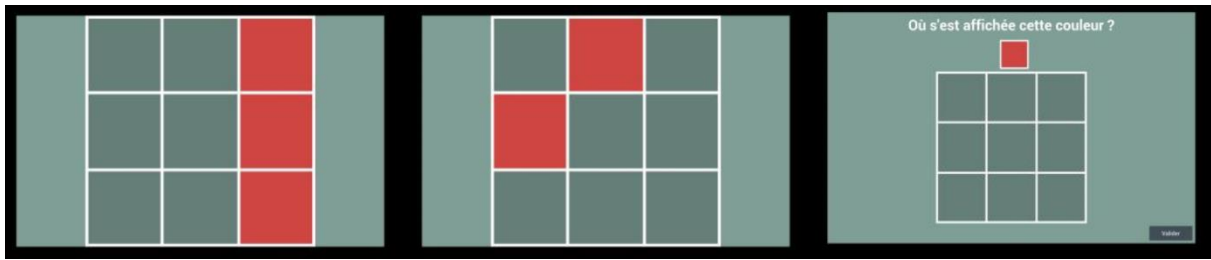


Figure 6B : Test de mémoire de travail « ajout de configuration » du logiciel COVIRTUA, proposant un exemple de conformation de 10 carrés (45).



Figure 6C : Test de mémoire de travail « ajout de configuration » du logiciel COVIRTUA, proposant un exemple de conformation de 10 triangles (45).

3.2. Evaluations neuropsychologiques concurrentes

3.2.1 Attention

Nous avons utilisé le barrage de Mesulam(47), qui mesure l'attention soutenue et sélective. Il s'agit d'un test de barrage chronométré comportant quatre planches (deux barrages de lettres et deux barrages de pictogrammes). Sur chaque planche, le patient devait entourer le stimulus cible le plus rapidement possible. Les cibles étaient présentées en modalité verbale (le stimulus cible était une lettre A majuscule parmi d'autres lettres distractrices), et en pictogrammes (le stimulus cible était un pictogramme « soleil barré » parmi d'autres formes géométriques distractrices). Pour chaque modalité de présentation des cibles, l'une des planches était une grille où les cibles étaient affichées de façon structurée (en lignes et colonnes), et sur l'autre planche, les cibles étaient présentées de façon éparpillée et désorganisée (figure 7).

Chaque planche comportait 60 items cibles répartis de façon équitable à gauche ou à droite d'une feuille A4 (15 cibles par quadrant : haut gauche, haut droit, bas gauche, bas droit).

Les données recueillies étaient :

- le temps total de passation pour chaque planche en secondes,
- et le nombre total de cibles omises.

Des normes existent pour les enfants à partir de 6 ans et pour les adultes sans limite supérieure d'âge. Une déviation des résultats supérieure à 1,65 écart-type par rapport aux normes, était considérée comme pathologique.

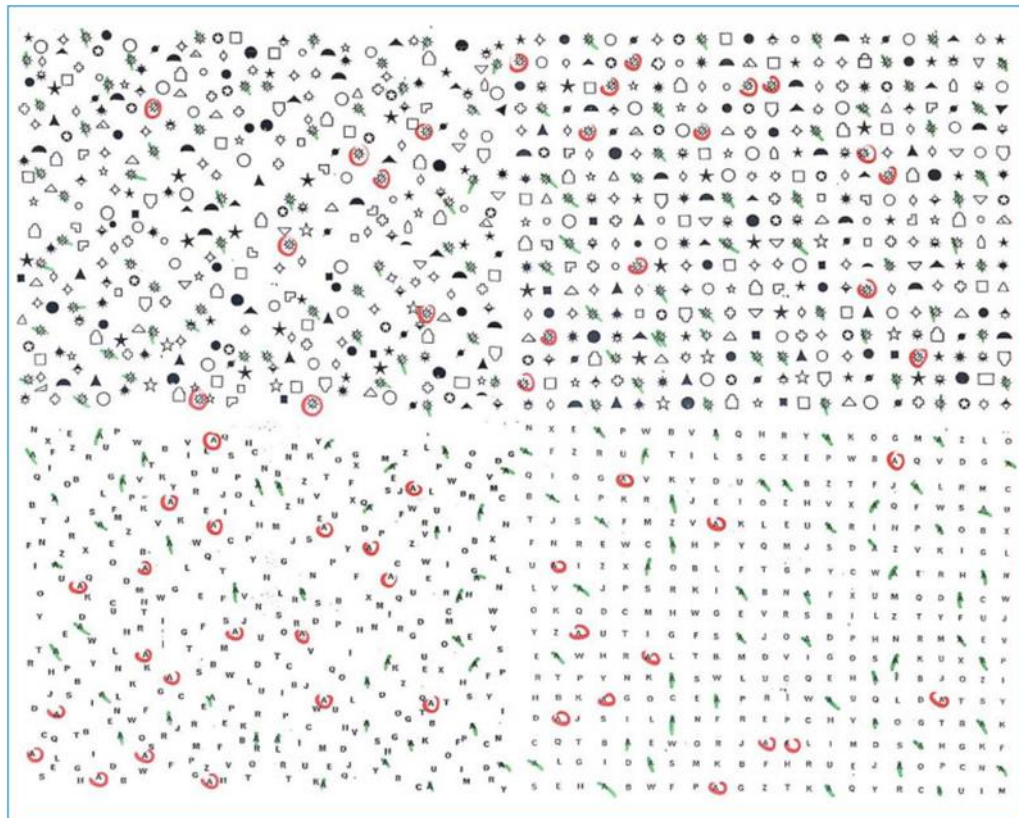


Figure 7 : Epreuve de barrages de Mesulam(47).

3.2.2 Fonctions exécutives

3.2.2.1 Inhibition et interférence

Deux évaluations neuropsychologiques concurrentes ont été présentées au patient : le test de Stroop et le test « incompatibilité » de la batterie TAP (48).

Nous avons utilisé le test de Stroop selon la version du GREFEX (28). Il se présentait sous la forme de 3 cartes, comportant 100 stimuli chacune. Le temps mis par le patient pour compléter chaque carte était chronométré. La première carte était la condition de dénomination ou de référence. La carte présentait uniquement des stimuli rectangulaires de couleur (rouge, jaune, vert, bleu) et le patient devait énoncer la couleur des stimuli, dans leur ordre d'apparition, le plus rapidement possible. La seconde carte était la condition de lecture. Les stimuli présentés sur la carte étaient des noms désignant des couleurs, écrits en encre noire. Il était demandé au patient de lire les stimuli, le plus rapidement possible. La dernière carte était la condition d'interférence. Cette carte comportait des noms de couleurs, écrits en encre d'une couleur qui était différente de celle que le mot désignait. Le patient devait dénommer, le plus rapidement possible, la couleur de l'encre (exemple : le mot bleu était écrit en encre rouge, la réponse attendue était « rouge ») (figure 8) (28,35).

On obtenait un indice d'interférence, en soustrayant le temps mis par le patient pour réaliser la condition de dénomination, du temps mis pour la condition d'interférence, habituellement plus long. On procédait de la même façon (soustraction du nombre d'erreurs en condition de dénomination et en condition d'interférence) pour obtenir un indice d'interférence concernant le nombre d'erreurs.



Figure 8 : Test de Stroop (28).

Ce test comporte des normes en fonction de l'âge du patient et de sa catégorie socio-professionnelle.

Les données recueillies étaient, pour chaque carte :

- le temps total mis par le patient pour compléter chaque carte, en secondes,
- le nombre d'erreurs que le patient corrigeait spontanément,
- le nombre d'erreurs non corrigées,
- l'indice d'interférence concernant le temps, et celui concernant le nombre d'erreurs.

Parmi les épreuves proposées dans la batterie TAP (48), nous avons utilisé le subtest « Incompatibilité ». Il s'agissait d'une épreuve informatisée permettant de tester l'inhibition et la sensibilité du patient à l'interférence, par le biais d'une épreuve basée sur l'incompatibilité entre le stimulus et la réponse attendue.

Sur l'écran, le test présentait au patient, à gauche et à droite d'un point de fixation central, des flèches tantôt dirigées vers la droite et tantôt vers la gauche.

Le sujet devait réagir au sens indiqué par la flèche, quelle que soit sa position à droite ou à gauche de l'écran. Deux interrupteurs étaient à sa disposition, et il devait effectuer une pression de la main droite si le sens de la flèche montrait la droite, et une pression de la main gauche si le sens de la flèche montrait la gauche. Chaque flèche était précédée d'un signal sonore avertisseur, et le patient devait réagir le plus rapidement possible (figure 9) (48).

Les données recueillies étaient :

- le nombre de réponses incorrectes,
- et le temps médian total de passation du test.

Les normes étaient fournies par le logiciel. Celles-ci ont été établies dans une population âgée de 20 à 69 ans.

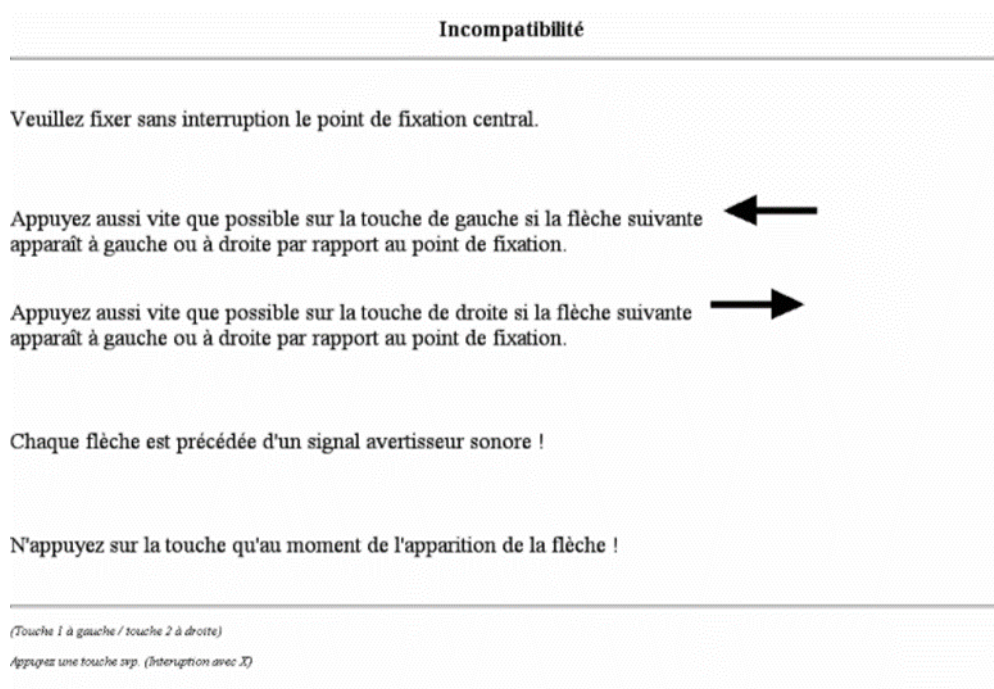


Figure 9 : Test « incompatibilité » de la batterie TAP (48).

3.2.2.2 Mémoire de travail

Deux évaluations neuropsychologiques concurrentes ont été présentées au patient : l'épreuve d'addition spatiale de l'échelle clinique de mémoire de Wechsler, dans sa quatrième édition (MEM IV) (50), et le test « mémoire de travail » de la batterie TAP (48).

Nous avons utilisé le test d'addition spatiale de l'échelle clinique de mémoire de Wechsler, dans sa quatrième édition (MEM IV) (50), pour évaluer la mémoire de travail visuelle. Dans ce test, l'examineur présentait au sujet deux grilles l'une après l'autre. Les deux grilles contenaient des cercles bleus et rouges. Le sujet devait mémoriser l'emplacement des cercles bleus sur la grille. Il devait ensuite additionner les cercles bleus, tout en ignorant les cercles rouges. Une difficulté s'ajoutait : si deux cercles bleus étaient présentés au même endroit sur les deux grilles, le participant qui additionnait mentalement ces deux cercles, devait les remplacer par un cercle blanc sur la grille vierge qu'il devait compléter. Cependant, si un cercle bleu se trouvait à un endroit qui n'était pas en commun sur les deux pages, le participant devait l'indiquer à l'aide d'un cercle bleu. Les cercles rouges devaient être ignorés, aucun cercle ne devait donc être mis à leurs emplacements (figure 10).

Chaque grille (au total 24) donnait lieu à 0 ou à 1 point. Pour obtenir une réponse correcte, les cercles devaient être placés au bon endroit et être de la bonne couleur. La note minimale possible à ce sous-test était de 0 point et la note brute maximale était de 24 points. Des normes existent pour ce test pour les adultes âgés de 16 ans à 69 ans et 11 mois (50).

La donnée recueillie était une note standardisée, en fonction du nombre d'erreurs commises par le patient, selon les normes du test.

ADDITION SPATIALE

Cette épreuve évalue la mémoire de travail visuospatiale

On présente successivement deux grilles au sujet, sur lesquelles figurent des cercles rouge et/ou des cercles bleu :

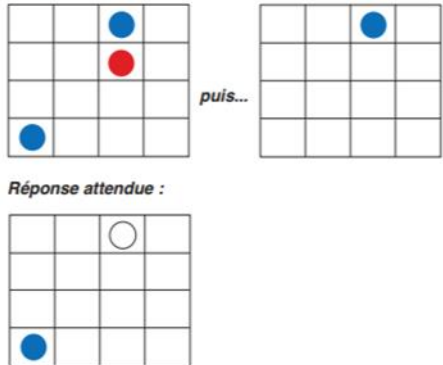
On présente ensuite au sujet une grille vierge et des cartes représentant des cercles rouge, bleu et blanc puis on énonce la consigne comprenant trois règles:

« Placez une carte avec un cercle bleu dans les cases où il n'y avait un cercle bleu que sur l'une des deux grilles. »

« Placez une carte avec un cercle blanc à l'endroit où il y avait un cercle bleu au même endroit sur les deux grilles »

« Ignorez le cercle rouge et ne placez donc aucune carte avec un cercle rouge sur la grille »

Exemple :



Réponse attendue :

Figure 10 : Test d'addition spatiale de la MEM IV (50).

Le test « Mémoire de travail » de la batterie TAP (40,48) est un test informatisé évaluant la mémoire de travail. Le patient devait comparer un stimulus donné (un nombre ou un chiffre apparaissait à l'écran) avec un stimulus présenté antérieurement. Nous avons choisi d'utiliser la forme la plus simple de ce test (intitulée « condition 1 »). Dès qu'apparaissait une cible (nombre identique au nombre précédent ou N-1), le sujet devait appuyer sur la touche réponse le plus rapidement possible. Le programme affichait la consigne du test, suivie d'un exemple illustratif. Le programme proposait par défaut 60 stimuli, avec 15 stimuli incompatibles et 15 stimuli compatibles dans chaque hémichamp de l'écran. Le stimulus était compatible lorsque le sens de la flèche et sa position à l'écran étaient identiques.

Les données recueillies étaient :

- le nombre de réponses incorrectes,
- le nombre d'omissions (cibles non signalées par le patient),

-et le temps médian total de passation du test.

Des normes existent pour les conditions 2 et 3. Nous avons choisi de proposer au patient la passation de la condition 1, qui se rapportait le plus au test du logiciel COVIRTUA, mais pour laquelle aucune norme n'existe.

4. Analyses statistiques

Les données continues étaient présentées par la moyenne et l'écart-type, les données discontinues ou qualitatives en effectif et pourcentage.

La reproductibilité des différents tests proposés avec le logiciel COVIRTUA a été mesurée par un coefficient de corrélation intra-classe (Intraclass Correlation Coefficient, ICC) en utilisant un modèle mixte à 2 facteurs et une cohérence absolue. L'ICC pouvait varier de 0 à 1 et être interprété selon une classification arbitraire, et admise par convention (51). La reproductibilité était :

- très mauvaise ou nulle si : $ICC \leq 0,30$;
- médiocre si : $0,31 \leq ICC \leq 0,50$;
- modérée si : $0,51 \leq ICC \leq 0,70$;
- bonne si : $0,71 \leq ICC \leq 0,90$;
- très bonne si : $ICC \geq 0,91$.

Pour les tests réalisés avec différentes modalités de difficulté, l'effet de la difficulté a été mesuré en utilisant un test d'analyse de variance pour mesures répétées (ANOVA_{mr}) lorsqu'il y avait plus de 2 modalités (en utilisant une correction de Bonferroni) ; cette méthode a ainsi été utilisée pour la comparaison des trois niveaux de difficulté du test d'inhibition par le logiciel COVIRTUA, concernant les valeurs de temps et le nombre d'erreurs. Pour le test d'attention par le logiciel

COVIRTUA (2 modalités), l'effet de difficulté a été mesuré par un test t de comparaison de moyennes pour données appariées.

Pour estimer la validité contre critère, nous avons comparé les résultats de l'évaluation des différents processus cognitifs par le logiciel COVIRTUA, à leur mesure par l'évaluation neuropsychologique concurrente, prise comme Gold Standard. La validité contre critère a été mesurée grâce à un coefficient de corrélation de Pearson. Pour être interprété, le coefficient de corrélation devait être significatif (la valeur de p devait être inférieure à 0,05). Le coefficient de corrélation (r) varie classiquement entre -1 et +1. Plus la valeur du coefficient était proche de -1 ou +1, plus les deux variables étaient associées fortement. Au contraire, plus la valeur du coefficient était proche de 0, moins l'association était forte. Nous avons qualifié la relation de la façon suivante :

-r : 0,4 à 0,59 = corrélation modérée,

-r : 0,6 à 0,79 = corrélation forte,

-r >0,8 = corrélation très forte.

La validité du construit a été analysée en étudiant la corrélation (Pearson) entre les résultats aux différents subtests de COVIRTUA et la durée d'évolution de la maladie ainsi que l'âge, et par ailleurs par une ANOVA avec comme variables à tester le sexe, le niveau d'éducation le type de lésion et sa latéralisation.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS v20 (IBM corp), le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

RÉSULTATS

1 Sujets

Trente - huit patients étaient éligibles pour participer au protocole. Huit patients étaient exclus, en raison d'une coopération insuffisante. Trente sujets ont été inclus dans l'étude, dont 17 hommes (56,7%). L'âge moyen était de $47,8 \pm 18,1$ ans. Dix-sept patients ont été évalués dans les 6 premiers mois après la lésion cérébrale. Le délai moyen depuis la lésion était de $59,8 \pm 91$ semaines, la médiane était à 24 semaines (intervalle interquartile 54 semaines) (figure 11).

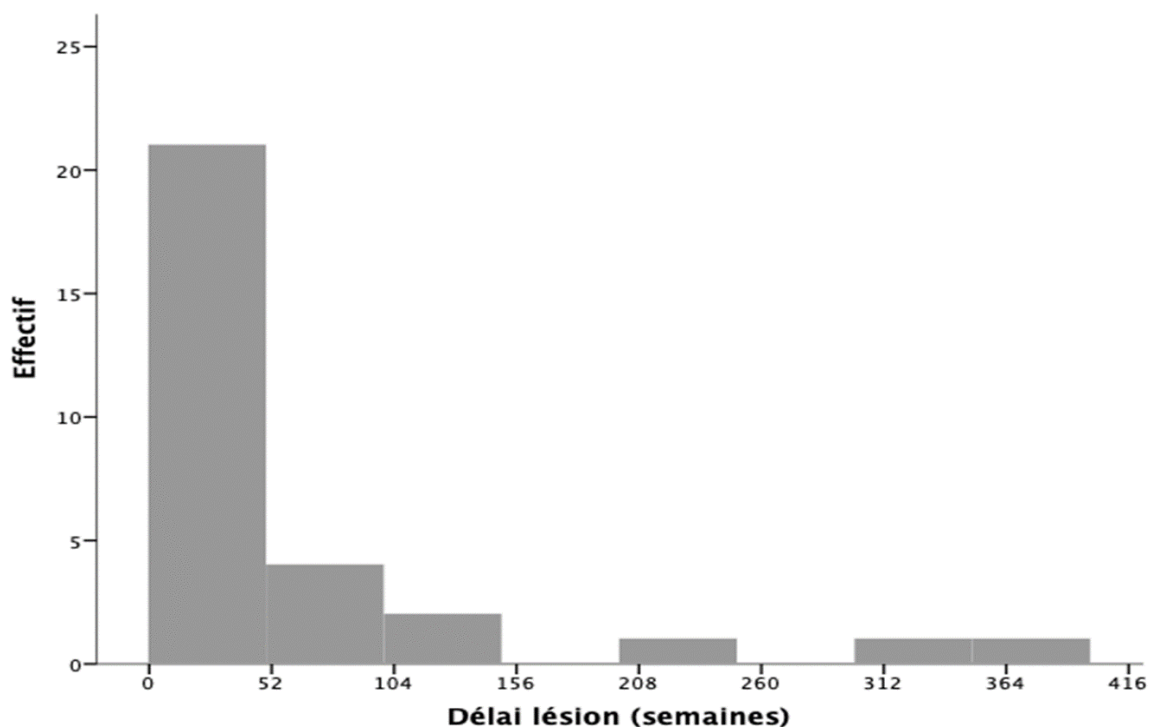


Figure 11 : Répartition des sujets selon le délai depuis la lésion cérébrale

Les patients étaient droitiers pour 26 d'entre eux (86,7%). Un tiers des sujets avaient un niveau socio-éducatif inférieur au baccalauréat, 11 (36,7%) un niveau bac à Bac+2, et 9 (30,0%) un niveau supérieur.

Concernant la nature des lésions, 18 patients (60%) avaient présenté un AVC (ischémique pour 13 d'entre eux, soit 72,2%), les 12 autres patients avaient présenté un traumatisme crânien. Concernant la localisation des lésions, 24 patients (80%) avaient une lésion sus-tentorielle, 3 patients (10%) avaient une lésion sous tentorielle et 3 patients avaient des atteintes sus et sous-tentorielles (10%). La lésion concernait l'hémisphère droit pour 11 patients (36,7%), l'hémisphère gauche pour 10 patients (33,3%) et les deux hémisphères pour 9 patients (30%).

En considérant les résultats aux évaluations neuropsychologiques choisies comme gold standard, l'attention sélective était pathologique pour 25 patients (83,3%) sur la base du test de barrage de soleils non structurés, pour 20 patients (66,7%) pour le test de barrage de soleils structurés, 21 patients (70%) pour le test de barrage de lettres non structurées, et 19 patients (63,3%) pour le test de barrage de lettres structurées. L'inhibition et l'interférence étaient déficitaires pour 6 patients (20,7%) selon l'indice d'interférence obtenu au test de Stroop, et pour 16 patients (53,3%) à l'épreuve d'incompatibilités de la TAP. La mémoire de travail était déficitaire pour 23 patients (76,7%) sur le test d'addition spatiale de la MEM IV. Aucune norme n'était disponible pour le niveau 1 du test de mémoire de travail de la TAP.

La latéralité de la réponse était le côté dominant pour 21 patients (70%).

2 Reproductibilité

La reproductibilité test-retest des différents subtests évalués était globalement bonne, à très bonne concernant le temps total de passation des différents tests et les temps de réponse du patient (Tableau 1).

Les tâches d'inhibition « facile » et de N-Back étaient celles qui avaient les ICC les plus faibles (mais qui correspondaient tout de même à une bonne reproductibilité).

Concernant le temps de réponse, les tâches d'inhibition avaient une reproductibilité moins bonne que les autres subtests.

La reproductibilité était globalement moins bonne pour le nombre d'erreurs, s'étalant de modérée à bonne.

Tableau 1. Reproductibilité des évaluations par le logiciel COVIRTUA.

	V1		V2		ICC	V1		V2		erreurs	erreurs	ICC
	temps total (sec)	temps total (sec)	temps par réponse (sec)	temps par réponse (sec)		temps par réponse (sec)	temps par réponse (sec)					
Barrages de lettres												
facile	443,5 (195,44)	418,6 (186,7)	0,96 [0,92;0,98]	2,10 (0,98)	2,01 (1,07)	0,86 [0,70;0,94]	1,62 (2,86)	2,14 (3,40)	0,69 [0,34;0,86]			
difficile	435,9 (192,56)	442,6 (220,3)	0,95 [0,89;0,98]	2,00 (0,98)	2,04 (1,04)	0,94 [0,87;0,97]	1,77 (3,36)	2,25 (3,38)	0,8 [0,57;0,91]			
Barrages de pictogrammes												
facile	374,8 (178,55)	353,9 (173,67)	0,96 [0,91;0,98]	1,75 (0,93)	1,71 (0,85)	0,93 [0,85;0,97]	2,46 (3,28)	3,29 (4,29)	0,73 [0,41;0,88]			
difficile	434,2 (246,96)	419,9 (207,1)	0,93 [0,84;0,97]	2,00 (1,20)	1,82 (0,91)	0,83 [0,63;0,92]	5,10 (5,64)	5,26 (5,10)	0,72 [0,40;0,87]			
Test d'inhibition et interférence												
facile	72,4 (13,4)	71,3 (17,02)	0,78 [0,53;0,99]	1,67 (0,61)	1,66 (0,55)	0,82 [0,62;0,92]	0,73 (1,11)	0,76 (0,99)	0,74 [0,46;0,88]			
moyen	95,2 (27,53)	91,3 (23,66)	0,95 [0,89;0,97]	2,40 (0,62)	2,21 (0,68)	0,75 [0,48;0,88]	1,87 (1,43)	1,69 (1,14)	0,61 [0,19;0,82]			
difficile	94,7 (23,0)	91,5 (22,25)	0,93 [0,86;0,97]	2,33 (0,61)	2,21 (0,49)	0,72 [0,40;0,87]	1,50 (1,23)	1,34 (1,23)	0,69 [0,34;0,85]			
Ajout de configuration												
N-back	164,0 (40,61)	157,5 (30,57)	0,84 [0,66;0,92]				3,27 (2,61)	2,41 (1,76)	0,74 [0,46;0,88]			
	62,8 (22,81)	56,3 (15,01)	0,76 [0,49;0,89]				0,77 (1,01)	0,55 (0,63)	0,68 [0,32;0,85]			

3 Validité contre critère

3.1 Tests d'attention

3.1.1 Barrage de lettres

Le temps total de réalisation de l'épreuve de barrages de lettres sur COVIRTUA était fortement corrélé au temps pour réaliser le test de barrage de Mesulam ($r = 0,615$; $p < 10^{-3}$) pour la modalité facile vs Mesulam structuré. Cette corrélation était modérée ($r = 0,492$; $p = 0,006$) pour la version difficile vs Mesulam dans sa version non structurée. Les relations étaient identiques entre le temps entre chaque objet barré dans COVIRTUA et le temps total de passation de chaque version du test de Mesulam ($r = 0,615$; $p < 10^{-3}$ et $r = 0,492$; $p = 0,006$, respectivement).

Il n'y avait pas de corrélation significative entre le nombre d'erreurs au test de barrage de lettres par le logiciel COVIRTUA, et le nombre d'omissions sur les planches du barrage de Mesulam.

3.1.2 Barrage de pictogrammes

Le temps total de réalisation de l'épreuve de barrage de pictogramme sur COVIRTUA était fortement corrélé au temps pour réaliser le test de barrage des soleils de Mesulam ($r = 0,655$; $p < 10^{-3}$ pour la modalité facile vs Mesulam structuré ; $r = 0,73$; $p < 10^{-3}$ pour la version difficile vs Mesulam dans sa version non structurée). Les relations étaient identiques entre le temps entre chaque objet barré dans COVIRTUA et le temps total de passation de chaque version du test de Mesulam ($r = 0,66$; $p < 10^{-3}$ et $r = 0,725$; $p < 10^{-3}$ respectivement).

Concernant le nombre d'erreurs, on observait une corrélation modérée entre

le barrage de pictogramme facile et le nombre d'omissions sur la planche de soleils structurés du barrage de Mesulam ($r = 0,565$; $p = 0,003$) et entre le barrage de pictogrammes difficile et la planche de soleils non structurés du barrage de Mesulam ($r = 0,467$; $p = 0,012$).

3.2. Tests des fonctions exécutives

3.2.1 Inhibition et interférence

Les paramètres temporels étaient modérément à fortement corrélés entre les évaluations par le logiciel COVIRTUA et les tests de référence (tableau 2). En ce qui concerne le nombre d'erreurs, il n'y avait pas de relation concernant le nombre d'erreurs entre les évaluations par le logiciel COVIRTUA et le nombre d'erreurs obtenus avec l'indice d'interférence du test de Stroop. On observait une corrélation modérée entre le test d'inhibition et d'interférence du logiciel COVIRTUA, en modalité « facile » et en modalité « moyen », et le test d'incompatibilité de la batterie TAP ($r = 0,445$; $p = 0,034$ et $r = 0,472$; $p = 0,017$, respectivement).

	Facile		Moyen		Difficile	
	r	p	r	p	r	p
Stroop Interférence						
Temps total	0,54	0,007	0,59	0,001	0,68	< 10⁻³
Stroop ID						
Temps total	0,53	0,011	0,53	0,006	0,51	0,009
Nombre d'erreurs	-0,17	0,427	0,06	0,78	-0,25	0,273
TAP incompatibilité						
Temps total	0,67	< 10⁻³	0,58	0,002	0,56	0,002
Temps par réponse	0,59	0,002	0,58	0,002	0,56	0,003
Nombre d'erreurs	0,45	0,034	0,47	0,017	0,1	0,652

Tableau 2 : Validité contre critère des tests d'inhibition et d'interférence par le logiciel COVIRTUA en modalité « facile », « moyen » et « difficile », avec pour test de référence le test de Stroop dans sa condition d'interférence, l'indice d'interférence (Stroop ID) du test de Stroop, et le test d'incompatibilité de la batterie TAP.

3.2.2 Mémoire de travail

3.2.2.1 Tâche de N-back

Il existait une corrélation modérée entre l'épreuve de N-back par le logiciel COVIRTUA et le test de mémoire de travail de la batterie TAP concernant le nombre d'erreurs ($r = 0,442$; $p = 0,018$). Cependant, il n'y avait pas de corrélation entre le nombre d'omissions avec la batterie TAP, et le nombre d'erreurs à l'épreuve avec le logiciel COVIRTUA. Il n'y avait pas non plus de corrélation entre le temps total de réalisation du test avec le logiciel COVIRTUA et le nombre d'erreurs ou le nombre d'omissions au test concurrent.

3.2.2.2 Ajout de configuration

Il existait une relation modérée concernant le nombre d'erreurs entre le test d'ajout de configuration par le logiciel COVIRTUA et le test d'addition spatiale de la MEM IV ($r = 0,495$; $p = 0,009$). Aussi, il existait une faible corrélation entre le nombre d'erreurs à la MEM IV, et le temps total de réalisation du test sur COVIRTUA ($r = 0,383$; $p = 0,048$).

4 Effet de la difficulté de la tâche

4.1 Tests d'attention

Pour les barrages de lettres, aucune différence significative n'était retrouvée entre la modalité « facile » et « difficile », en ce qui concerne le temps total de passation des tests, le temps par réponse et le nombre d'erreurs. On ne retrouvait donc pas d'effet de la difficulté entre ces deux modalités.

Pour les barrages de pictogrammes, on observait à l'opposé des performances moins bonnes en modalité « difficile » vs « facile » pour le temps total de passation ($p = 0,013$), le temps par réponse ($p = 0,016$) et le nombre d'erreurs ($p = 10^{-3}$). Il existait donc un effet de la difficulté entre les deux modalités de ce test (figure 12).

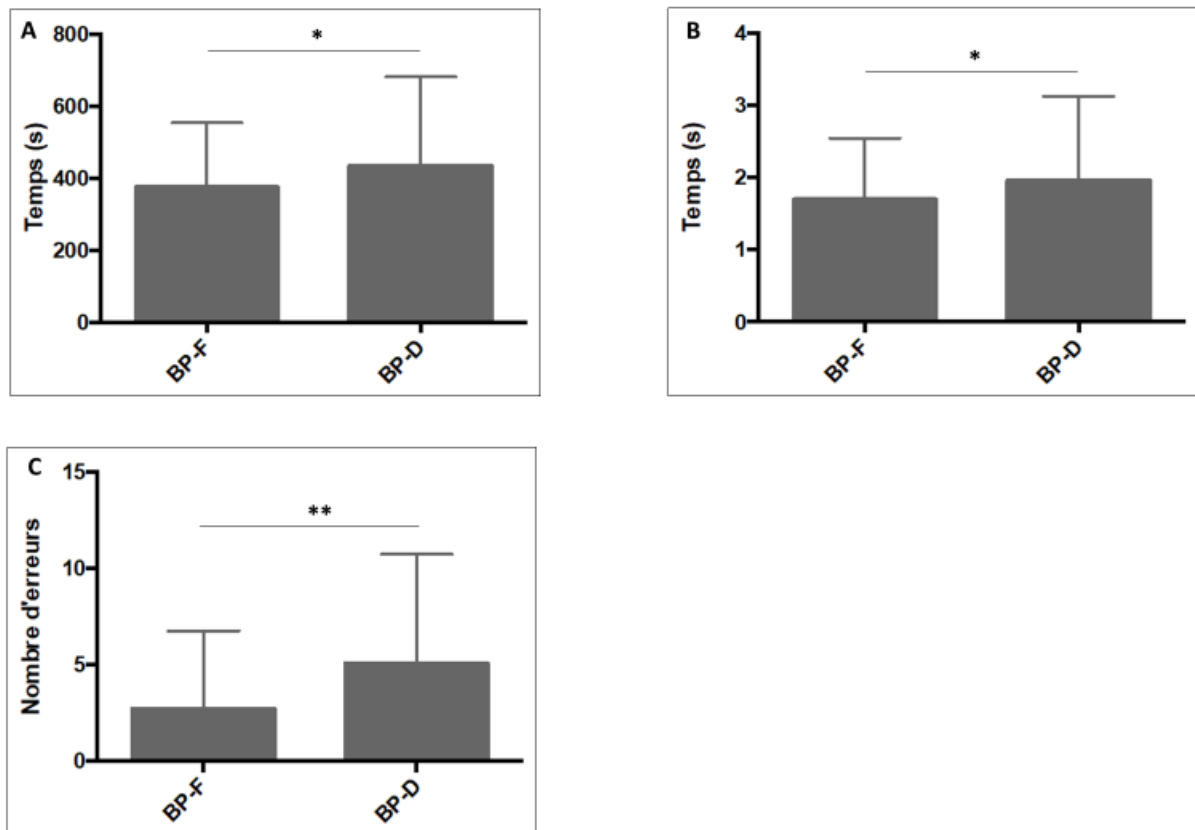


Figure 12 : Effet de difficulté entre les modalités « facile » (BP-F) et « difficile » (BP-D) pour le barrage de pictogrammes, pour le temps total (A), le temps par réponse (B) et le nombre d'erreurs (C).

* $p < 0,05$, ** $p = 0,001$. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type de la moyenne.

4.2 Tests d'inhibition et d'interférence

On observait un effet de la difficulté de la tâche pour chaque paramètre évalué par le test d'interférence et d'inhibition du logiciel COVIRTUA ($F_{(1,4.38,7)} = 32,2$; $p < 10^{-4}$ pour le temps total de passation, $F_{(1,4.41,5)} = 26,2$; $P < 10^{-4}$ pour le temps de réponse et $F_{(2,58)} = 7,2$; $p = 0,002$) pour le nombre d'erreurs). Les tests post-hoc ont montré pour ces 3 variables, que la performance était meilleure dans la modalité « facile » comparativement aux deux autres, et qu'il n'y avait pas de différence entre les modalités « moyen » et « difficile » (Figure 13).

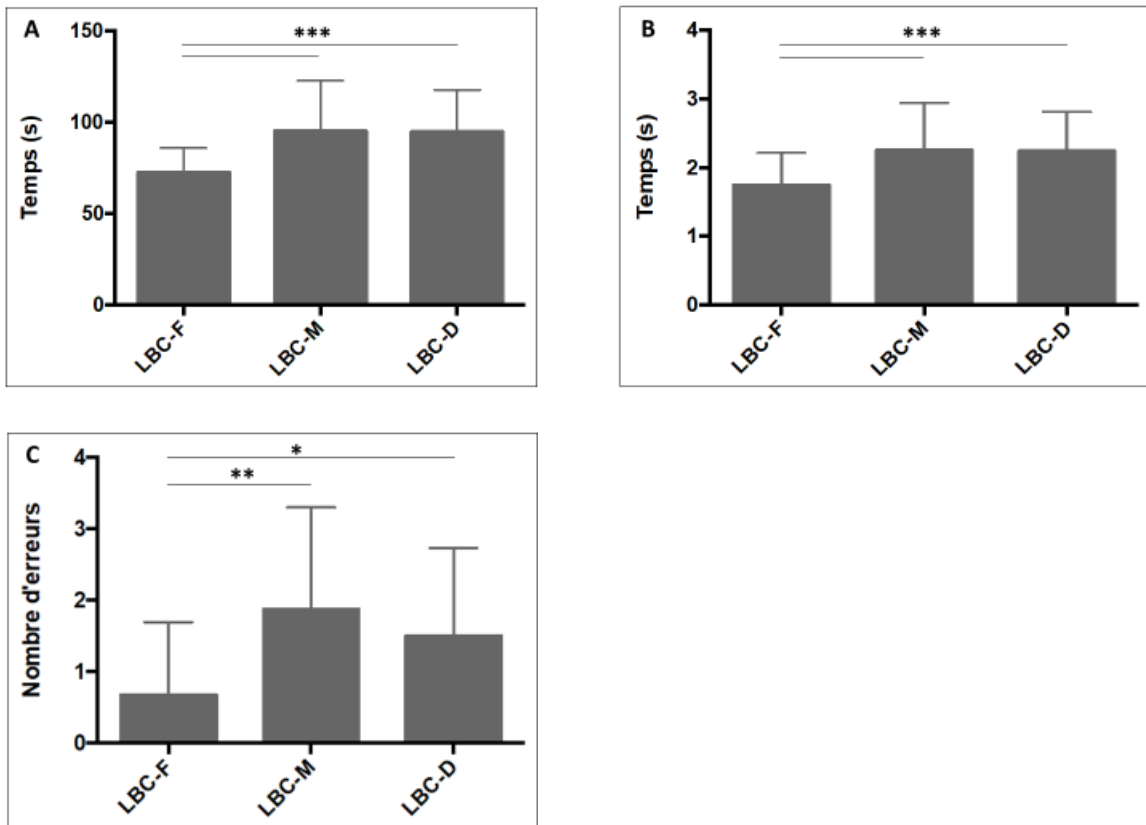


Figure 13 : Effet de la difficulté entre les modalités « facile » (LBC-F), « moyen » (LBC-M) et « difficile » (LBC-D) pour le test d'inhibition et d'interférence pour le temps total (A), le temps par réponse (B) et le nombre d'erreurs (C).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 10^{-4}$. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type de la moyenne.

5. Validité du construit

Il n'y avait pas de relation entre les résultats des différents exercices réalisés avec le logiciel COVIRTUA et les données démographiques (sexe, niveau d'éducation, latéralité), sauf pour le nombre d'erreurs au test d'ajout de configuration qui progressait avec l'âge du patient ($r = 0,418$; $p = 0,022$).

Il n'y avait pas d'effet du type et du côté de la lésion, ni de la localisation sus- ou sous-tentorielle, ni du délai depuis de la lésion.

6. Retour des utilisateurs

Les sujets ont accepté volontiers de participer à l'étude. Les sujets avaient un retour majoritairement positif après la passation des différents tests sur la tablette avec le logiciel COVIRTUA. Ils estimaient que le logiciel était ludique, facile d'utilisation et innovant. Les tests eux-mêmes étaient considérés comme variés et de présentation agréable. Les sujets n'ont pas exprimé de crainte ou de réticence à utiliser cette technologie. Les critiques négatives concernaient surtout la sensibilité de l'écran tactile, qui pouvait varier en fonction de la propreté de l'écran, et la fatigue oculaire engendrée par la fixation prolongée de l'écran.

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de réaliser un travail pilote pour étudier la validité et la reproductibilité des subtests du logiciel COVIRTUA évaluant l'inhibition, la mémoire de travail et l'attention sélective chez des patients avec une lésion cérébrale acquise. Pour cela, nous avons mesuré la reproductibilité, la validité contre critère, et la validité du construit. Par ailleurs, nous avons pour objectif de tester l'effet sur la performance de facteurs de complexification de la tâche proposés par le logiciel.

Cette étude préliminaire montre que le logiciel COVIRTUA possède des qualités psychométriques intéressantes. La reproductibilité variait de très bonne à moyenne en fonction des subtests et des variables d'intérêt analysées, la validité contre critère dépendait des subtests et était globalement meilleure pour les variables de temps que pour les nombres d'erreurs. Les résultats aux évaluations par le logiciel COVIRTUA étaient peu sensibles aux caractéristiques démographiques des patients, et aux caractéristiques des lésions cérébrales. On retrouvait l'effet recherché de la complexification de certaines tâches sur la performance du patient.

1 Discussion sur la méthode

1.1 Choix des tests sur COVIRTUA

Le logiciel COVIRTUA propose douze tests analytiques différents, et chaque test propose de nombreux choix de configurations (mode d'affichage, nombre de tirages, pourcentage de distracteurs, présence ou non d'interférences, nature des interférences, animation des items, décor ou musique de fond etc.), qui peuvent être conjugués selon l'appréciation de l'utilisateur. Pour chaque évaluation, les combinaisons possibles sont donc très nombreuses, aboutissant à autant de tests différents qu'il existe de configurations possibles. Le choix des tests détaillés dans cette étude et de leur configuration, a été réalisé conjointement entre médecins et neuropsychologues. Plusieurs buts étaient recherchés :

- les tests devaient permettre une évaluation des fonctions cognitives les plus fréquemment altérées après une lésion cérébrale acquise. Nous n'avons pas choisi les tests analysant le langage, car cette fonction est d'évaluation complexe et il ne nous semblait donc pas pertinent de l'inclure dans notre étude préliminaire. Nous avons donc retenu les évaluations de l'attention, de la mémoire de travail visuelle et de l'inhibition proposées par le logiciel.

- chaque test devait être comparable à l'évaluation neuropsychologique classique existante qui s'en rapprochait le plus. De ce fait, nous avons adapté les configurations pour reproduire au mieux la présentation et les paramétrages des évaluations concurrentes (par exemple : fréquence des cibles, niveau de difficulté etc.).

- afin d'évaluer l'effet de la complexification de la tâche sur la performance du patient, nous avons édité plusieurs niveaux de difficulté pour certains exercices du logiciel COVIRTUA, en modulant la difficulté.

Ainsi, cette étude se concentre sur un nombre limité d'évaluations, et sur un nombre limité de configurations possibles pour chaque test choisi. Chaque test que nous avons paramétré possède ses qualités psychométriques propres. Cette étude ne permet donc pas de refléter la validité de l'ensemble des possibilités offertes par le logiciel.

Il faut mentionner que fait de modifier les configurations des tests présentés dans cette étude imposerait la réalisation de nouvelles études pour déterminer les qualités de ces nouveaux tests.

Lors de la passation des tests, nous remarquons que l'ordre aléatoire des tirages semblait parfois modifier les tests. Ainsi, pour le test de barrage de pictogrammes, certaines cibles étaient plus saillantes que d'autres, et étaient identifiées plus aisément. Lorsque plusieurs tirages d'une même série proposaient d'identifier des cibles très saillantes, le niveau de difficulté du test semblait diminuer. De même, le test d'ajout de configuration semblait plus difficile lorsque les tirages comportaient davantage de conformations de 10 triangles. Nous remarquons également que le patient pouvait se trouver en difficulté lorsqu'il lui était proposé deux barrages de lettres comportant successivement la même lettre cible à identifier. Le test de barrages de lettres nécessite donc des capacités de flexibilité mentale, afin de changer de lettre cible d'un tirage à l'autre. Il serait intéressant d'évaluer dans quelle mesure la nature des tirages qui composent l'exercice en affecte la difficulté.

En conclusion, l'ordre de passation des différents tests pourrait être mieux défini pour prendre en considération ces paramètres.

1.2 Choix des évaluations neuropsychologiques concurrentes

Comme pour les évaluations avec le logiciel COVIRTUA, le choix des évaluations concurrentes a été réalisé conjointement entre médecins et neuropsychologues. Les buts recherchés étaient :

-permettre l'évaluation de l'attention sélective, l'inhibition et la mémoire de travail, chez les patients cérébrolésés.

-une similitude avec les tests proposés par le logiciel COVIRTUA, afin de rendre les deux évaluations comparables.

Les évaluations neuropsychologiques concurrentes ne font pas toutes partie de l'évaluation habituelle des patients présentant une lésion cérébrale acquise, au sein du service de Rééducation Neurologique Cérébrolésion de l'Hôpital Pierre Swynghedauw au CHU de Lille, bien que leur utilisation soit validée dans ce cadre. Ainsi le test de barrage de Mesulam, et le test de mémoire de travail en condition 1 de la batterie TAP sont peu utilisés en pratique courante. Ceci peut limiter l'utilité clinique des résultats que nous avons obtenus concernant les tests de barrage et de N-back du logiciel COVIRTUA.

1.3 Choix de la tablette

La tablette tactile est un support informatisé présentant plusieurs avantages tels que la portabilité et la maniabilité ; la fonction tactile permet une réponse directe avec

un délai d'apprentissage très court. C'est une technologie innovante en matière d'évaluation neuropsychologique, qui pourrait permettre d'étendre les évaluations cognitives au lit du patient, au domicile, ou même à distance du thérapeute. Enfin, la tablette pourrait améliorer l'implication du sujet dans la tâche (38), ce qui est source de plasticité cérébrale. Elle peut également diminuer l'influence de l'examineur sur les réponses, et améliorer l'accessibilité au testing neuropsychologique (38).

Les tablettes tactiles existent sous différentes formes. Nous avons choisi une tablette Microsoft avec un écran de 12 pouces. Ceci n'a à priori pas d'incidence sur la performance des patients comme l'ont démontré Kane et Parsons (39). Dans leur étude, la taille de l'écran de la tablette n'avait pas d'incidence sur le temps nécessaire pour compléter des tâches d'identification d'objets à l'écran, ou pour taper des mots. De plus, des équivalences psychométriques ont été établies entre la version sur iPad et la version papier-crayon de batteries de tests pour le dépistage de la démence et des troubles de la mémoire (39).

L'une des limites que l'on peut formuler, mais qui est commune à toute méthode d'évaluation informatisée, concerne la précision de la mesure des temps. Certains auteurs déplorent le manque de précision des horloges et des chronomètres des systèmes d'exploitation (l'horloge du système doit être parfaitement synchronisée avec l'horloge de l'écran, faute de quoi des erreurs de mesure sont possibles), ce qui peut être source de biais de mesure (52). A notre connaissance, la précision de la mesure des temps de réaction sur tablette n'a pas été étudiée, dans la littérature disponible (39).

Un autre désavantage est le fait que des erreurs puissent survenir durant la passation des épreuves informatisées en raison de problèmes d'interaction

hardware/software (38). Ceci peut également perturber le patient, qui doit souvent recommencer l'épreuve depuis le début en cas de dysfonctionnement informatique. Ce type de problème est rarement survenu durant la conduite des inclusions pour cette étude. Nous n'en avons pas comptabilisé les occurrences, mais cela pourrait être utile dans les études futures.

2 Population

2.1 Caractéristiques

L'effectif inclus était de 30 sujets, ce qui a permis une première étude correcte de la reproductibilité et de la validité du logiciel. Il serait intéressant de compléter ce travail par une étude comportant un effectif plus important, afin de confirmer nos résultats et minimiser le risque de biais par manque de puissance.

Les patients étaient relativement jeunes dans notre étude, puisque la moyenne d'âge était de 47,8 ans dans l'ensemble de l'échantillon. La moyenne d'âge des patients ayant présenté un TC était de 42,9 ans, ce qui se rapproche des résultats de Masson et al. qui retrouvaient dans leur étude une moyenne d'âge de 41 ans (53). La moyenne d'âge des patients ayant présenté un AVC dans notre étude était de 51,1 ans, ce qui était donc plus faible que l'âge moyen de survenue d'un AVC décrit dans la littérature, qui est de 73 ans (70 ans pour les hommes et 76 ans pour les femmes) (5). Cependant, elle se rapproche de celle des sujets accueillis en unité de rééducation spécialisée.

L'effectif comportait une population hétérogène, avec des patients victimes de traumatismes crâniens et d'accidents vasculaires cérébraux. Bien que les

problématiques cognitives soit en partie distinctes, les fonctions étudiées étaient relativement ciblées et nous avons choisi de mélanger les deux types d'atteintes. Il pourrait être intéressant de distinguer ces deux populations dans les travaux futurs, pour mieux en définir les spécificités.

Parmi les patients ayant présenté un AVC, 72,2% des patients présentaient une lésion ischémique. Cette proportion d'infarctus est comparable à ce qui est observé classiquement (2,5). Nous n'avons pas choisi d'exclure les patients ayant présenté des lésions sous-tentorielles. En effet, plusieurs études montrent l'existence de troubles cognitifs à la suite de lésions cérébelleuses ou du tronc cérébral. Les fonctions cognitives atteintes sont les fonctions exécutives (les patients présentent notamment un défaut de flexibilité, de planification, et une atteinte de la mémoire de travail spatiale), la cognition sociale, le langage, la mémoire et l'attention. Des troubles de l'humeur et du comportement sont également possibles (54). Schmahmann décrit un syndrome cérébelleux cognitivo-affectif, comportant une atteinte des fonctions exécutives, visuo-spatiales et du langage, accompagnées de perturbations affectives allant de l'émoussement des affects et de la dépression, à la désinhibition voire aux traits psychotiques (55).

Nous avons inclus des sujets à différentes phases après leur lésion cérébrale. Cette inhomogénéité temporelle ne représente cependant pas un biais dans le sens où l'évaluation portait sur des fonctions bien ciblées et que l'évaluation par la tablette était inconnue de tous les patients.

2.2 Résultats aux épreuves neuropsychologiques concurrentes

Les épreuves de barrages étaient pathologiques pour une proportion importante de patients (entre 60 et 80%), et surtout dans leur présentation non structurée. Cette proportion est supérieure à la proportion de patient présentant des atteintes de l'attention observée dans les études, et qui concerne 20 à 40% des patients à la phase chronique post-AVC (56) et environ 50% des patients 4 ans après un TC (7). En fonction du délai écoulé depuis la lésion cérébrale, ces chiffres sont susceptibles de varier. Ainsi, avant 6 semaines post-AVC les troubles de l'attention peuvent concerner entre 46 et 92% des patients (56). Dans notre étude, 4 patients ont été évalués avant les 6 semaines post-AVC. Ces chiffres peuvent varier en fonction de la méthode d'évaluation utilisée, ainsi à 5 ans du TC 69% des patients interrogés rapportent un ralentissement du traitement de l'information et 60% rapportent des difficultés attentionnelles (57).

L'inhibition était peu déficitaire lorsque l'on prenait en compte la condition d'interférence au test de Stroop, et ne concernait que 20,7% des patients. Le déficit d'inhibition atteignait 53,3% des patients avec le test d'incompatibilité de la batterie TAP. L'épreuve d'addition spatiale de la batterie MEM IV était fortement déficitaire (76,7% des patients). Les proportions de patients présentant une atteinte des fonctions exécutives après une lésion cérébrale acquise observées dans la littérature sont variables, puisque 20 à 40% des patients présenteront un déficit des fonctions exécutives après un AVC (29), et dans une cohorte de 54 patients traumatisés

crâniens, Azouvi et al. retrouvaient une prévalence des atteintes exécutives pour 87% des patients (7).

3 Reproductibilité

La reproductibilité est un prérequis indispensable à l'étude de la validité d'un test. Les différents subtests du logiciel COVIRTUA Cognition étudiés présentent une reproductibilité test-retest satisfaisante à une semaine.

La reproductibilité était bonne concernant le temps de passation des différents tests et le temps de réaction du patient. La reproductibilité était globalement moins bonne quand il s'agissait des nombres d'erreurs commises aux différents tests (la reproductibilité était modérée à bonne pour tous les tests). Afin de fournir une explication à ce résultat, nous pouvons avancer le fait que, contrairement aux variables de temps, qui sont des variables continues dont les variations sont minimales d'une évaluation à l'autre, les nombres d'erreurs sont des variables discrètes et leur variation d'une évaluation à l'autre prend une importance statistique plus grande. Cela est d'autant plus significatif quand le nombre d'erreurs est faible (une différence de quelques erreurs peut alors représenter un écart important).

Nos résultats sont comparables à ceux d'une étude de 2018, évaluant la reproductibilité test-retest d'évaluations cognitives informatisées dans un groupe de sujets sains (58). En effet, à une semaine d'intervalle, les auteurs obtenaient une bonne reproductibilité concernant les temps par réponse pour les tests d'inhibition et d'attention sélective, ainsi que pour un test N-back à un niveau N-2. Aussi, les auteurs obtenaient une reproductibilité faible concernant le nombre d'erreurs pour l'ensemble des tests (sauf le N-back) (58).

En 2006, Schatz et Putz ont réalisé l'étude de trois logiciels d'évaluation cognitive informatisée (ImPACT, CogSport et Headminder CRI), qu'ils ont comparé aux évaluations neuropsychologiques classiques, chez des patients ayant présenté un traumatisme crânien modéré après un accident de sport. Ils retrouvaient que les mesures de temps de réaction et de temps de passation étaient corrélées entre les deux modes d'évaluation (59). Ils n'évaluaient pas le nombre d'erreurs.

Si l'on se concentre sur les différents subtests étudiés, les tâches d'inhibition en modalité « facile » et de N-back avaient les ICC les plus faibles. La reproductibilité de la tâche de N-back est variable selon les études. Dans leur étude de 2010, Jaeggi et al. évaluaient les qualités psychométriques de la tâche de N-back dans un groupe de sujets sains et retrouvaient une meilleure fiabilité pour les temps de réaction, plutôt que pour le nombre d'erreurs. Plusieurs auteurs dont Friedman et al. en 2006 et 2008, ainsi que Kane et al. en 2007, et Shamosh et al. en 2008, retrouvaient des valeurs de fiabilité mitigées, comprises entre $r = 0,02$ et $r = 0,91$, avec des valeurs de r supérieures à 0,80 dans les tâches de n-2 ou n-3 uniquement (60).

Un effet d'entraînement entre la première et la deuxième visite pourrait biaiser les analyses de reproductibilité, c'est-à-dire que les performances seraient meilleures lors de la deuxième passation, lorsque le sujet serait entraîné. A ce propos, plusieurs études ont évalué s'il existait un effet d'entraînement avec les évaluations sur tablettes sur des cohortes de sujets sains. Il était retrouvé qu'à une semaine d'intervalle, l'effet d'entraînement était minime sur tablette tactile entre deux évaluations d'un même test (61), et le temps de familiarisation avec le logiciel était bref pour des tests d'inhibition et d'attention sélective (58). Les résultats de notre étude corroborent ces constats, en effet, certains temps de réponse sont un peu plus courts lors de la deuxième passation des tests, mais dans une amplitude peu

importante, et les ICC sont bons. On peut donc estimer qu'il n'y a donc pas d'effet d'apprentissage entre les deux passations.

4 Validité contre critère

4.1 Tests d'attention

Concernant les barrages de lettres, la validité contre critère était correcte en ce qui concerne les variables de temps (temps total, temps par réponse), mais pas en ce qui concerne le nombre d'erreurs.

Plusieurs explications peuvent être avancées. Concernant le nombre d'erreurs, le test de barrage sur tablette et les tests papiers crayon diffèrent dans leur cotation : dans le test-papier crayon, les erreurs et les omissions sont comptabilisés, le test peut donc s'achever sans que toutes les cibles soient barrées. Avec COVIRTUA, le passage à la planche de test suivante est conditionné par l'identification de toutes les cibles. Ainsi, il n'est pas possible de terminer prématurément un exercice sans perdre les données pré-enregistrées. Le logiciel ne permet pas d'enregistrement des résultats en cours d'exercice, et il faut impérativement terminer le test pour obtenir le relevé des performances. Nous avons donc comparé un nombre d'omission au test de barrage de Mesulam, avec un nombre d'erreurs sur le logiciel COVIRTUA. Il pourrait être intéressant de faire évoluer le logiciel, en permettant un calcul du nombre d'omissions commises par le patient.

Par ailleurs, pour les barrages de lettres, nous avons comparé une présentation non structurée des cibles dans le barrage de Mesulam, avec une

présentation structurée dans le subtest « difficile » du barrage de lettres sur le logiciel COVIRTUA Cognition. Il a été démontré que les tests de barrage requièrent davantage de capacités attentionnelles dans leur présentation non structurée, en comparaison avec la version structurée (62). Les deux tests étaient donc moins comparables à priori.

Pour les barrages de pictogrammes, nous avons comparé des présentations identiques (structuré vs structuré, non structuré vs non structuré), ce qui peut expliquer une meilleure validité contre critère pour ce test, concernant le nombre d'erreurs.

4.2 Tests des fonction exécutives

4.2.1 Inhibition et interférence

Nous avons comparé le test proposé par le logiciel au test de Stroop. Les paramètres temporels étaient modérément à fortement corrélés entre les évaluations par le logiciel COVIRTUA et les tests de référence. En revanche, le nombre d'erreurs n'était pas corrélé entre le test de Stroop et l'évaluation sur COVIRTUA, quelle que soit la configuration du logiciel. L'une des explications réside dans le fait que ces deux tests sont différents, l'un utilise des mots et des couleurs et l'autre des chiffres et des symboles.

Dans le test proposé par le logiciel COVIRTUA, il est difficile de dire dans quelle mesure la lecture du chiffre influe sur le décompte du nombre de carrés présents à l'écran, et vice versa. Une étude de 1991 analysait l'effet Stroop dans la comparaison de nombres. Dans cette étude, la méthode de comparaison de nombres reposait sur la grandeur du nombre (valeur numérique), croisée avec sa taille physique d'impression. Le patient devait comparer des paires de nombres. Un

effet d'interférence était retrouvé pour ce paradigme, lorsque les paires étaient non congruentes (lorsque la taille physique du nombre est en opposition avec la taille numérique (Ex : 2 9)) (63). Dans une autre étude de 2016, Xiao et al. montraient qu'il existe un effet Stroop portant sur la reconnaissance de formes géométriques. Ils ont montré à 15 sujets sains un cadre assorti à un nom d'objet ayant une forme spécifique (Ex : cadre circulaire et roue de vélo). Il était demandé au patient de catégoriser la forme typique de l'objet en « cercle », « carré » ou « triangle ». Ils remarquaient que la catégorisation du nom de l'objet était plus rapide lorsque le cadre était de forme congruente (64). A notre connaissance, il n'existe pas de littérature évaluant l'effet Stroop dans des conditions pouvant se rapprocher du test d'inhibition du logiciel COVIRTUA.

4.2.2 Mémoire de travail

Le test N-back du logiciel est corrélé à l'évaluation neuropsychologique concurrente concernant le nombre d'erreurs. Cependant il n'y avait pas de corrélation concernant le temps de passation du test. A propos des tests N-back, nous avons mentionné ci-dessus que la reproductibilité était variable, surtout en condition N-1. Jaeggi et al. suggèrent qu'étant donné que la corrélation maximale attendue d'un test avec un autre est limité par sa reproductibilité, l'établissement de corrélations entre les variables des tests est limité par la fiabilité de la mesure de ces variables (60).

Les tests d'ajout de configuration sur COVIRTUA et d'addition spatiale sur la MEM IV étaient bien corrélés.

5 Effet de la difficulté

Il existait un effet de la difficulté pour le test de barrage de pictogrammes, entre la modalité « facile » et « difficile ». Cela signifie que le logiciel enregistre bien une modification des performances en lien avec la complexification de la tâche pour ces subtests. La complexification de la tâche entre la modalité « structurée » et « non structurée » est visible avec les épreuves classiques, et se traduit bien avec le logiciel COVIRTUA. En effet, en 1994 Sea et Henderson retrouvaient un plus faible pourcentage d'erreurs au test de barrage de lignes dans sa présentation structurée, en comparaison avec sa présentation non structurée. Les mêmes constats étaient effectués avec un test de barrage de lettres (62).

On ne montrait pas d'effet de la difficulté entre la modalité « facile » et « difficile » des tests d'évaluation de l'attention par barrage de lettres. Les configurations de ces deux modalités étaient similaires, c'est-à-dire structurées, avec uniquement l'adjonction d'une musique de fond dans la modalité « difficile » par rapport à la modalité « facile ». L'absence d'effet de la difficulté pourrait être due à la nature auditive de l'interférence, qui exerce un effet de distraction plus faible qu'une interférence en modalité visuelle. En effet, McFadyen et al. retrouvaient un coût attentionnel accru pour la modalité visuelle par rapport à la modalité auditive, dans leur étude sur le coût de la double tâche sur la marche, chez 18 patients ayant présenté des traumatismes crâniens modérés à sévères, en utilisant le temps de réaction lors d'un test de Stroop (65). On peut par ailleurs supposer que la musique de fond n'a pas de pouvoir distracteur important.

On montrait un effet de la difficulté entre les modalités « facile » et les deux autres modalités du test d'inhibition et d'interférence avec le logiciel COVIRTUA. Ce

résultat signifie que l'ajout de distracteurs supplémentaires permet d'augmenter la difficulté de la tâche. Il n'y avait cependant pas de différence entre la modalité « moyen » et « difficile ». Les configurations de ces deux évaluations étaient relativement proches, avec uniquement l'adjonction d'une interférence vocale, avec une voix annonçant des chiffres différents de façon continue dans la modalité « difficile ». Il est possible que la modalité verbale de cette interférence soit peu distractive, auquel cas les paramétrages des deux modalités de ce test étaient similaires, annulant l'effet de la difficulté. Aussi, dans de rares cas, l'interférence vocale pouvait annoncer par hasard un chiffre correspondant au nombre de carrés présents à l'écran et à la réponse que le patient devait fournir. Dans ce cas, l'interférence pouvait plutôt constituer une aide.

6 Validité du construit

Il n'y avait pas de lien entre les différentes données démographiques des patients et les résultats, sauf pour le nombre d'erreurs au test d'ajout de configuration qui progressait avec l'âge du patient. Hormis pour ce dernier paramètre, l'absence d'effet de l'âge sur les performances est un argument en faveur de l'absence de biais lié à l'habitude d'utiliser ou non une tablette tactile, si l'on prend comme hypothèse qu'un sujet jeune y est plus habitué. Il n'y avait pas d'effet du type et du côté de la lésion, ni de la localisation sus- ou sous-tentorielle, ni du délai depuis de la lésion.

Ce résultat peut être nuancé par le faible effectif, mais il signifie que les différents subtests pourraient être utilisés dans une population très hétérogène.

Dans le test de Stroop, certains auteurs retrouvent un effet de l'âge, en particulier dans la condition d'interférence, et un effet du sexe a parfois été observé (35). Les différents tests de barrages décrits dans la littérature sont aussi influencés par des facteurs tels que le niveau d'éducation ou l'âge (test des cloches), ou la localisation unilatérale hémisphérique droite de la lésion (Letter Cancellation Test) (35).

7 Limites de l'étude

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, l'une des limites de cette étude est l'effectif inclus limité. La prise en compte d'un plus grand effectif pourrait limiter le biais dû à un manque de puissance de l'étude.

Par ailleurs, la population que nous avons étudiée est hétérogène dans la nature des lésions cérébrales. Il serait intéressant d'analyser séparément les deux populations, afin de pouvoir formuler des recommandations pour l'utilisation du logiciel, en fonction de la pathologie étudiée.

Nous n'avons pas mesuré l'ensemble des éléments permettant d'établir les qualités psychométriques d'un test, et proposons avec cette étude une analyse préliminaire des principales caractéristiques du logiciel. Les résultats que nous avons obtenus sont encourageants, mais ne sont pas suffisants pour obtenir un tableau complet des avantages et inconvénients des subtests analysés.

Une autre limite réside dans le fait que nous n'avons pas d'informations concernant l'expérience des patients vis-à-vis de l'informatique, et les nouvelles technologies de façon plus générale. Nous n'avons pas étudié le lien qu'il pourrait y

avoir, entre les résultats aux différents tests, et l'aptitude préalable à l'utilisation de l'informatique. Ceci peut constituer un biais dans l'étude de la validité contre critère, car le patient naïf de l'utilisation d'ordinateurs obtiendra de meilleurs résultats sur les tests au format papier crayon, et ses performances seront plus faibles avec le support informatisé. Dans notre étude, chaque patient était comparé à lui-même, ce qui limite le biais de confusion dû à l'inexpérience. Aussi, comme nous l'avons cité dans l'introduction, les patients victimes de traumatismes crâniens sont plus fréquemment des adultes jeunes. Ceux-ci sont donc susceptibles d'être davantage familiarisés à l'utilisation de l'informatique. Dans notre étude, les patients ayant présenté un AVC que nous avons évalué étaient aussi relativement jeunes.

Hormis l'appréciation de l'examineur, il n'y avait pas d'autre évaluation de la motivation et de l'implication du patient lors de la passation des tests. Tous les patients ayant été inclus semblaient motivés et impliqués lors des passations des différents tests, mais il s'agit là de l'appréciation subjective de l'examineur. La motivation est une qualité qui peut fluctuer dans le temps, ainsi la mesure de la reproductibilité des tests peut être impactée par un manque de motivation pour la réalisation d'un exercice précis ou lors de la passation entière, qui peut fausser les résultats des tests (66). De la même manière, l'état de fatigue peut aussi représenter un facteur de confusion, et mériterait d'être pris en compte dans les études futures, que ce soit pour les tests informatisés ou les évaluations papier-crayon.

Nous avons proposé au patient plusieurs évaluations informatisées au cours de la même séance. L'ordre de passation des épreuves peut avoir une importance comme l'ont montré Cole WR et al.(67). Dans notre étude, l'ordre de passation des tests était toujours le même, et nous n'avons pas mesuré l'effet que pourrait avoir

l'ordre de passation des tests, ou le fait de réaliser des séances comportant plusieurs tests, sur les résultats.

Enfin, nous avons recueilli de façon informelle l'avis du patient concernant l'évaluation par le logiciel COVIRTUA. Les patients étaient globalement satisfaits, mais un interrogatoire plus précis pourrait permettre de récolter davantage d'informations sur ce point.

8 Perspectives

Ce travail propose des éléments de validation préliminaire des subtests d'évaluation des capacités d'inhibition, de mémoire de travail et d'attention sélective du logiciel d'évaluation cognitive COVIRTUA Cognition, chez les patients cérébrolésés. Nous avons pu voir que la plupart des dimensions évaluées reflétaient bien les objectifs d'évaluations respectives. Pour poursuivre le travail de validation, il serait intéressant d'étudier :

- la sensibilité au changement des différents tests. On dit d'un outil qu'il est sensible au changement s'il permet de mesurer avec précision des variations minimales des performances du patient. Ces variations peuvent être dues à l'évolution naturelle du patient, ou à une prise en charge thérapeutique.

- la différence minimale cliniquement significative.

Par ailleurs, le logiciel COVIRTUA offre un support intéressant pour évaluer le coût de la double tâche en complexifiant les épreuves de manière balisée et reproductible. L'informatisation des exercices permettrait une analyse plus fine des paramètres cognitifs en jeu lors d'exercices requérant une double tâche, grâce aux

possibilités de couplage avec des mesures physiologiques telles que l'enregistrement EEG ou des mouvements oculaires, par exemple.

Le logiciel propose également des activités fonctionnelles, pour lesquelles il pourrait être intéressant d'évaluer la validité écologique. La validité écologique existe lorsque les comportements observés en situation de test reflètent les comportements qui se produisent effectivement au quotidien. Les activités fonctionnelles du logiciel pourraient permettre une évaluation écologique du patient et une rééducation adaptée et informatisée, grâce à des mises en situation dans un environnement de laboratoire ou en réalité virtuelle.

CONCLUSION

Cette étude préliminaire de la validité et de la reproductibilité des subtests du logiciel COVIRTUA évaluant l'attention soutenue, l'inhibition et la mémoire de travail, chez des patients cérébrolésés, montre que le logiciel COVIRTUA possède des qualités psychométriques intéressantes. Ainsi, la reproductibilité et la validité du construit sont satisfaisantes, la validité contre critère est bonne pour les variables de temps, modérée à bonne pour la cotation des différentes erreurs. On retrouvait aussi l'effet recherché de la complexification de certaines tâches sur la performance du patient. Cette étude ne permet pas de refléter l'ensemble des possibilités permises par le logiciel, notamment en ce qui concerne les exercices plus écologiques. Il serait intéressant de poursuivre, par des études futures, ce travail préliminaire de validation, et d'étudier les perspectives d'évaluation écologique et de remédiation cognitive, qu'offre le logiciel.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Stroke--1989. Recommendations on stroke prevention, diagnosis, and therapy. Report of the WHO Task Force on Stroke and other Cerebrovascular Disorders. *Stroke*. Oct 1989;20(10):1407-31.
2. Béjot Y, Touzé E, Jacquin A, Giroud M, Mas J-L. Epidemiology of stroke. *Med Sci MS*. sept 2009 ;25(8-9):727-32.
3. Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte [Internet]. Haute Autorité de Santé. [Cité 14 juill 2019]. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/jcms/c_1334330/fr/accident-vasculaire-cerebral-methodes-de-reeducation-de-la-fonction-motrice-chez-l-adulte
4. Rapport Fery-Lemonnier 2009[Internet]. [Cité 14 juill 2019]. Disponible sur : https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/AVC_-_rapport_final_-_vf.pdf
5. Accidents vasculaires cérébraux [Internet]. Collège des Enseignants de Neurologie. 2016 [cité 14 juill 2019]. Disponible sur: <https://www.cen-neurologie.fr/deuxieme-cycle%20accidents-vasculaires-c%3%A9r%3%A9braux>
6. Masson F. Épidémiologie des traumatismes crâniens graves. *Ann Fr Anesth Réanimation*. 1 avr 2000 ;19(4):261-9.
7. Azouvi P, Arnould A, Dromer E, Vallat-Azouvi C. Neuropsychology of traumatic brain injury: An expert overview. *Rev Neurol (Paris)*. août 2017;173(7-8):461-72.
8. Mathé J-F, Richard I, Rome J. Serious brain injury and public health, epidemiologic and financial considerations, comprehensive management and care. *Ann Fr Anesth Reanim*. juin 2005;24(6):688-94.
9. Masson F, Thicoipe M, Mokni T, Aye P, Erny P, Dabadie P, et al. Epidemiology of traumatic comas: a prospective population-based study. *Brain Inj*. avr 2003;17(4):279-93.
10. Tagliaferri F, Compagnone C, Korsic M, Servadei F, Kraus J. A systematic review of brain injury epidemiology in Europe. *Acta Neurochir (Wien)*. mars 2006;148(3):255-68; discussion 268.
11. Douiri A, Rudd AG, Wolfe CDA. Prevalence of poststroke cognitive impairment: South London Stroke Register 1995-2010. *Stroke*. janv 2013;44(1):138-45.
12. Sun J-H, Tan L, Yu J-T. Post-stroke cognitive impairment: epidemiology, mechanisms and management. *Ann Transl Med*. août 2014;2(8):80.

13. Rasquin SMC, Lodder J, Verhey FRJ. Predictors of reversible mild cognitive impairment after stroke: a 2-year follow-up study. *J NeurolSci.* 15 mars 2005;229-230:21-5.
14. Yu K-H, Cho S-J, Oh MS, Jung S, Lee J-H, Shin J-H, et al. Cognitive impairment evaluated with Vascular Cognitive Impairment Harmonization Standards in a multicenter prospective stroke cohort in Korea. *Stroke.* mars 2013;44(3):786-8.
15. Jacquin A, Binquet C, Rouaud O, Graule-Petot A, Daubail B, Osseby G-V, et al. Post-stroke cognitive impairment: high prevalence and determining factors in a cohort of mild stroke. *J Alzheimers Dis JAD.* 2014;40(4):1029-38.
16. Mellon L, Brewer L, Hall P, Horgan F, Williams D, Hickey A, et al. Cognitive impairment six months after ischaemic stroke: a profile from the ASPIRE-S study. *BMC Neurol.* 12 mars 2015;15:31.
17. Nakling AE, Aarsland D, Næss H, Wollschlaeger D, Fladby T, Hofstad H, et al. Cognitive Deficits in Chronic Stroke Patients: Neuropsychological Assessment, Depression, and Self-Reports. *Dement Geriatr Cogn Disord Extra.* août 2017;7(2):283-96.
18. Rabinowitz AR, Levin HS. Cognitive Sequelae of Traumatic Brain Injury. *Psychiatr Clin North Am.* 1 mars 2014;37(1):1-11.
19. Mazaux JM, Joseph PA. La récupération cognitive après traumatisme crânien. In : Seron X., Van Der Linden. *Traité de Neuropsychologie Clinique*, volume 2. Solal. Marseille; 2000. 31-38 p.
20. Barker-Collo SL, Feigin VL, Lawes CMM, Parag V, Senior H, Rodgers A. Reducing attention deficits after stroke using attention process training: a randomized controlled trial. *Stroke.* oct 2009;40(10):3293-8.
21. Camus JF. La psychologie cognitive des processus attentionnels. In: *La neuropsychologie de l'attention.* Solal. 2001. p. 11-26.
22. Van Zomeren AH, Brouwer WH, Deelman BG. Attentional deficits: the riddles of selectivity, speed and alertness. In: *Closed head injury: Psychological, social and family consequences.* Oxford. Oxford:D.Brooks; 1984.
23. Leclercq M, Zimmermann P. L'évaluation des fonctions attentionnelles. In: *Traité de Neuropsychologie Clinique.* Solal; 2000. p. 95-114.
24. Van Zomeren AH, van den Burg W. Residual complaints of patients two years after severe head injury. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* janv 1985;48(1):21-8.
25. Ponsford J, Kinsella G. Attentional deficits following closed-head injury. *J Clin Exp Neuropsychol.* sept 1992;14(5):822-38.
26. Pradat-Diehl P, Peskine A. *Evaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne.* Springer Science & Business Media. 2006. 174 p.

27. Angelelli P, Paolucci S, Bivona U, Piccardi L, Ciurli P, Cantagallo A, et al. Development of neuropsychiatric symptoms in post stroke patients: a cross-sectional study. *Acta Psychiatr Scand.* juill2004;110(1):55-63.
28. Godefroy O. L'évaluation des fonctions exécutives en pratique clinique : Groupe de réflexion sur l'évaluation des fonctions exécutives (GREFEX). *Rev Neuropsychol.* 1 sept 2001 ;11:383-433.
29. Godefroy O, Roussel M, Boissezon X. Troubles dysexécutifs et ralentissement de l'action dans la pathologie vasculaire cérébrale. In : *Troubles neurocognitifs vasculaires et post-AVC : de l'évaluation à la prise en charge.* De Boeck. 2017. p. 179-91.
30. Godefroy O. Syndromes frontaux et dysexécutifs. *Rev Neurol (Paris).* 1 oct 2004 ;160(10): 899-909.
31. Meulemans T, Van der Linden M, Collette F. Fonctions exécutives et régulation émotionnelle. In: *Neuropsychologie des fonctions exécutives.* Solal. Marseille ;
32. Van der Linden M, Seron X, Meulemans T. L'évaluation des troubles de la mémoire. In : *Traité de Neuropsychologie Clinique, Volume 1.* Solal. Marseille ; 2000. p. 74-107.
33. Pichot, P. (1967). *Les tests mentaux* (6e édition). Paris
34. Planton M, Albucher J-F, Pariente J. Troubles cognitifs d'origine vasculaire - EM Premium [Internet]. [Cité 7 sept 2019]. Disponible sur : <https://www-em-premium-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/article/1053152/resultatrecherche/1>
35. Rousseaux M, Cabaret M, Bernati T. Evaluation clinique et écologique de l'attention. In: *La neuropsychologie de l'attention.* Solal. 2001. p. 75-101.
36. Roussel M, Barbay M, Godefroy O. Troubles de la mémoire et AVC. In : *Troubles neurocognitifs vasculaires et post-AVC : de l'évaluation à la prise en charge.* De Boeck. 2017. p. 141-50.
37. Van der Linden M. L'évaluation de la mémoire épisodique, autobiographique et prospective. In : *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte - Tome 1 - Evaluation.* 2ème édition. De Boeck Solal ; 2014.
38. Jollivet M, Fortier J, Besnard J, Gall D, Allain P. Neuropsychologie et technologies numériques. *Rev Neuropsychol.* 24 mars 2018;10:69-81.
39. Kane RL, Parsons TD. *The Role of Technology in Clinical Neuropsychology.* Oxford University Press; 2017. 521 p.
40. Zimmermann P. Evaluation informatisée de l'attention. In : *La neuropsychologie de l'attention.* Solal. 2001. p. 103-25.
41. Parsey CM, Schmitter-Edgecombe M. Applications of Technology in Neuropsychological Assessment. *Clin Neuropsychol [Internet].* nov 2013 [cité 7sept2019];27(8). Disponible sur:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3869883/>

42. Casaletto KB, Heaton RK. Neuropsychological Assessment: Past and Future. *J Int Neuropsychol Soc JINS*. 2017;23(9-10):778-90.
43. Kane RL, Parsons TD. *The Role of Technology in Clinical Neuropsychology*. Oxford University Press; 2017. 521 p.
44. Parsons TD. *Clinical Neuropsychology and Technology: What's New and How We Can Use It*. Springer International, 2016, 190 p.
45. covirtua [Internet]. covirtua. [cité 7 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.covirtua.com>
46. Fermanian J. Validation des échelles d'évaluation en médecine physique et de réadaptation : comment apprécier correctement leurs qualités psychométriques. *Ann Réadapt Médecine Phys*. 1 juill2005;48(6):281-7.
47. Mesulam, M.-M. (2000). Attentional networks, confusional states, and neglect syndromes. In M.-M. Mesulam (Ed.), *Principles of behavioral and cognitive neurology* (pp. 174-256). New York, NY, US: Oxford University Press.
48. Zimmermann P. et Fimm B. (2009). Test d'évaluation de l'attention Version 2.1 Psytest
49. Godefroy O. L'évaluation des fonctions exécutives en pratique clinique : Groupe de réflexion sur l'évaluation des fonctions exécutives (GREFEX). *Rev Neuropsychol*. 1 sept 2001 ;11:383-433.
50. Wechsler, D. (2012). *Manuel de l'Echelle Clinique de Mémoire de Wechsler-4e édition*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
51. Shrout, P.E., Fleiss, J.L. (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological bulletin*, 86 2, 420-8 .
52. Cernich AN, Brennana DM, Barker LM, Bleiberg J. Sources of error in computerized neuropsychological assessment. *Arch Clin Neuropsychol Off J Natl Acad Neuropsychol*. févr 2007;22 Suppl 1:S39-48.
53. Masson F, Thicoipe M, Mokni T, Aye P, Erny P, Dabadie P, et al. Epidemiology of traumatic comas: a prospective population-based study. *Brain Inj*. avr 2003;17(4):279-93.
54. Lagarde J, Hantkie O, Hajjioui A, Yelnik A. Neuropsychological disorders induced by cerebellar damage. *Ann Phys Rehabil Med*. 1 mai 2009;52(4):360-70.
55. Schmahmann JD. Disorders of the cerebellum: ataxia, dysmetria of thought, and the cerebellar cognitive affective syndrome. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 2004;16(3):367-78.
56. Hyndman D, Pickering RM, Ashburn A. The influence of attention deficits on functional recovery post stroke during the first 12 months after discharge from hospital. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. juin 2008;79(6):656-63.

57. Vallat-Azouvi C, Chardin-Lafont M. Les troubles neuropsychologiques des traumatisés crâniens sévères. *Inf Psychiatr.* 15 nov2012; Volume 88(5):365-73.
58. White N, Forsyth B, Lee A, Machado L. Repeated computerized cognitive testing: Performance shifts and test-retest reliability in healthy young adults. *PsycholAssess.* 2018;30(4):539-49.
59. Schatz P, Putz BO. Cross-validation of measures used for computer-based assessment of concussion. *Appl Neuropsychol.* 2006;13(3):151-9.
60. Jaeggi SM, Buschkuhl M, Perrig WJ, Meier B. The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Mem Hove Engl.* mai 2010;18(4):394-412.
61. Vincent AS, Fuenzalida E, Beneda-Bender M, Bryant DJ, Peters E. Neurocognitive assessment on a tablet device: Test-retest reliability and practice effects of ANAM Mobile. *Appl Neuropsychol Adult.* 24 juill2019;1-9.
62. Sea M-JC, Henderson A. The reliability and validity of visuospatial inattention tests with stroke patients. *Occup Ther Int.* 1994;1(1):36-48.
63. McFadyen BJ, Cantin J-F, Swaine B, Duchesneau G, Doyon J, Dumas D, et al. Modality-specific, multitask locomotor deficits persist despite good recovery after a traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil.* sept 2009;90(9):1596-606.
64. Bauer RM, Iverson GL, Cernich AN, Binder LM, Ruff RM, Naugle RI. Computerized Neuropsychological Assessment Devices: Joint Position Paper of the American Academy of Clinical Neuropsychology and the National Academy of Neuropsychology. *Arch Clin Neuropsychol.* mai 2012;27(3):362-73.
65. Cole WR, Arrieux JP, Dennison EM, Ivins BJ. The impact of administration order in studies of computerized neurocognitive assessment tools (NCATs). *J Clin Exp Neuropsychol.* févr 2017;39(1):35-45.

AUTEUR : Nom : FOREST

Prénom : Alexandra

Date de soutenance : 30/09/2019

Titre de la thèse : Validation préliminaire d'un outil informatique d'évaluation cognitive (COVIRTUA) chez les patients cérébrolésés.

Thèse - Médecine - Lille 2019

Cadre de classement : Médecine Physique et Réadaptation

DES + spécialité : Médecine Physique et Réadaptation

Mots-clés : accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien, cérébrolésion acquise, évaluation, informatique, troubles cognitifs, neuropsychologie, COVIRTUA

Résumé :

Contexte : Les troubles cognitifs après une cérébrolésion acquise sont fréquents et représentent un facteur de mauvais pronostic de récupération fonctionnelle. L'évaluation et la rééducation des déficiences cognitives est un enjeu important de la prise en charge du patient. Les évaluations neuropsychologiques informatisées sont une modalité émergente d'évaluation cognitive, et permettraient une évaluation rapide, avec des résultats automatisés et une capacité plus importante que les tests « papier-crayon » de moduler le niveau de difficulté de tests.

Méthode : Il s'agit d'une étude pilote prospective d'évaluation préliminaire de la reproductibilité, de la validité contre critère (épreuves papier crayon ou informatisées) et de la validité du construit, des subtests du logiciel COVIRTUA évaluant l'attention soutenue, l'inhibition et la mémoire de travail chez des patients ayant présenté un AVC ou un TC grave. Nous avons pour objectif secondaire de tester l'effet de facteurs de complexification de la tâche proposés par le logiciel sur la performance.

Résultats : Trente patients ont été inclus (18 AVC et 12 TC). La reproductibilité des différents tests variait de bonne à très bonne pour les variables de temps, l'ICC variait de 0.76 à 0.96 pour le temps total de passation, de 0.72 à 0.94 pour le temps de réaction. La reproductibilité variait de moyenne à bonne pour le nombre d'erreurs (ICC de 0.61 à 0.8). La validité contre critère était variable en fonction des sub-tests analysés et était globalement bonne pour les variables de temps, modérée à bonne pour la cotation des différentes erreurs. On retrouvait un effet de la difficulté pour le barrage de pictogrammes sur COVIRTUA et avec le test d'inhibition « facile ». Il n'y avait pas de relation entre les performances sur le logiciel COVIRTUA et les données démographiques des patients (sauf pour le nombre d'erreurs au test d'ajout de configuration qui progressait avec l'âge du patient ($r = 0,418$; $p = 0,022$)). Il n'y avait pas d'effet du type et du côté de la lésion, ni de la localisation sus- ou sous-tentorielle, ni du délai depuis de la lésion.

Conclusion : Le logiciel COVIRTUA possède des qualités psychométriques intéressantes. La reproductibilité et la validité du construit des différents tests sur COVIRTUA sont satisfaisantes, la validité contre critère est bonne pour les variables de temps, modérée à bonne pour la cotation des différentes erreurs. On retrouvait aussi l'effet recherché de la complexification de certaines tâches sur la performance du patient.

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur A. THEVENON

Assesseurs : Monsieur le Professeur L. DEFEBVRE

Madame le Professeur K. DUJARDIN

Monsieur le Professeur V. TIFFREAU

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur E. ALLART

