

Université de Montréal

**Caractérisation des fonctions exécutives à la suite d'un traumatisme craniocérébral et liens  
avec le devenir fonctionnel à court terme**

**Par Coralie Francoeur**

**Département de psychologie, Faculté des arts et des sciences**

Essai doctoral présenté en vue de l'obtention du  
Doctorat en psychologie (D.Psy.) option neuropsychologie clinique

Juillet 2020

© Coralie Francoeur, 2020



## Résumé

**Contexte.** Le traumatisme craniocérébral (TCC) est enjeu de santé considérable, ayant des répercussions parfois majeures sur le quotidien des personnes qui en souffrent, notamment en raison des difficultés cognitives associées. Cette étude vise à caractériser l'état des fonctions exécutives (FE) en phase aiguë de récupération et à explorer le lien entre ces fonctions et le niveau d'autonomie fonctionnelle des patients au congé de l'hôpital. **Méthode.** Un total de 70 patients hospitalisés pour un TCC ont pris part à une évaluation des FE, puis ont été comparés à un groupe de 50 patients hospitalisés pour des blessures traumatiques sans TCC. Les tâches exécutives mesurant la flexibilité cognitive (Traçage de pistes A et B; Interférence couleur-mot et Fluidité alternée de la *Delis-Kaplan Executive Function System* (D-KEFS)), la mise à jour (Séquences de chiffres de l'*Échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes*; Contrôle mental de l'*Échelle clinique de mémoire de Wechsler*) et l'inhibition (Interférence couleur-mot de la D-KEFS; test de Hayling; Batterie Rapide d'Efficiency Frontale) ont été administrées au chevet des patients. Le niveau d'autonomie fonctionnelle à court terme des patients TCC a été évalué à l'aide du *Glasgow Outcome Scale Extended* (GOSE), de la durée de séjour et de la destination au congé des soins aigus. Il a ensuite été mis en association avec les résultats aux tâches exécutives. **Résultats.** Les patients du groupe TCC ont des scores plus faibles que le groupe de patients avec blessures traumatiques pour la plupart des tâches effectuées. La majorité des scores neuropsychologiques sont associés au devenir fonctionnel à court terme des patients TCC. **Conclusions.** Au-delà des altérations des performances possibles dues au contexte d'hospitalisation et au fait d'avoir eu un accident, les patients avec un TCC présentent des atteintes exécutives en phase aiguë de récupération. Cependant, les atteintes exécutives ne sont pas de l'ordre du déficit clinique. L'intégrité des FE est associée au devenir fonctionnel au congé des soins aigus des patients. De surcroît, la présente étude a permis de critiquer la pertinence de certaines mesures neuropsychologiques dans l'évaluation des FE en contexte de soins aigus.

**Mots-clés :** traumatisme craniocérébral, fonctions exécutives, soins aigus, neuropsychologie, inhibition, mémoire de travail, flexibilité mentale, hospitalisation, cognition, devenir fonctionnel

## Abstract

**Context.** Traumatic brain injury (TBI) is a major health issue with important consequences on daily living, especially due to cognitive impairment. This study aims to characterize the impact of TBI on executive functions (EF) in the acute recovery phase, and to explore the relation with functional outcome at discharge from hospital. **Method.** A total of 70 patients hospitalized for TBI who participated in an EF assessment were compared to a group of 50 patients hospitalized for traumatic injuries without TBI. Executive tasks assessing cognitive flexibility (Trail Making Test A and B; Color-Word Interference and Category Switching from the *Delis-Kaplan Executive Function System* (D-KEFS)), updating (Digit span from the *Wechsler Adult Intelligence Scale*; Mental Control from the *Wechsler Memory Scale*) and inhibition (Color-Word Interference from the D-KEFS; Hayling Sentence Completion Test; Frontal Assessment Battery) were administered at bedside. Short-term functional outcome was assessed for TBI patients with the *Glasgow Outcome Scale Extended* (GOSE), length of stay and destination at discharged from acute care and were then associated with executive performances. **Results.** TBI patients scored lower than the control group on most of the tasks. The majority of neuropsychological scores was associated with short-term functional outcome in TBI patients. **Conclusions.** Beyond a potential drop in performance due to being hospitalized and having been involved in an accident, TBI patients present executive weaknesses in the acute recovery phase. However, these weaknesses do not reach clinical deficit. Integrity of EF is associated with functional outcome at discharge from acute care. Furthermore, this study criticizes the relevance of certain neuropsychological measures in the assessment of EF at acute care.

**Keywords:** traumatic brain injury, executive functions, acute care, neuropsychology, inhibition, working memory, cognitive flexibility, hospitalization, cognition, functional outcome

## Table des matières

Résumé .....	iii
Abstract .....	iv
Liste des tableaux .....	vii
Liste des abréviations .....	viii
Remerciements .....	xi
Position du problème.....	1
Contexte théorique .....	2
1. Le traumatisme craniocérébral .....	2
1.1 Définition .....	2
1.2 Prévalence .....	3
1.3 Degrés de sévérité .....	3
1.4 Conséquences du TCC.....	4
1.4.1 Conséquences sur la cognition .....	4
2. Les fonctions exécutives.....	5
2.1 Description.....	5
2.2 Modèle de Miyake .....	6
2.2.1 Flexibilité mentale.....	6
2.2.2 Mise à jour.....	6
2.2.3 Inhibition. ....	6
2.3 Impact du TCC sur les FE.....	6
2.4 Prédiction du pronostic à court terme .....	9
2.5 Objectifs et hypothèses .....	12
Méthodologie .....	13
1. Participants .....	13
2. Instruments de mesure .....	13
2.1 Les FE .....	14
2.1.1 Flexibilité mentale.....	14
2.1.2 Mise à jour.....	14
2.1.3 Inhibition .....	15
2.2 Mesure du devenir fonctionnel .....	15
2.3 Procédure .....	16
2.4 Analyses statistiques .....	16

Résultats .....	17
1. Données démographiques et liées à l'accident .....	17
2. Analyse des différences entre les deux groupes .....	18
3. Prédiction du devenir fonctionnel à l'aide des tâches neuropsychologiques .....	23
Discussion .....	27
1. Différences intergroupes quant aux performances aux tâches exécutives .....	27
1.1 La flexibilité mentale .....	27
1.2 La mise à jour.....	29
1.3 L'inhibition .....	30
1.4 Conclusions liées à l'objectif 1 de l'étude .....	32
2. Prédiction du devenir fonctionnel à court terme .....	33
2.1 La flexibilité mentale .....	34
2.2 La mise à jour.....	34
2.3 L'inhibition .....	35
2.4 Conclusions liées à l'objectif 2 de l'étude .....	35
3. Limites .....	36
4. Implications cliniques.....	38
Conclusion.....	39
Références .....	40
Annexe 1 .....	57

## Liste des tableaux

### Tableau

1	Critères d'évaluation de la sévérité d'un TCC .....	3
2	Pourcentage de données manquantes par test en fonction des groupes .....	18
3	Résultats moyens des scores bruts et écarts-types aux tests.....	19
4	Différences intergroupes aux différentes tâches .....	20
5	Analyses Receiver Operating Characteristic (ROC) pour les performances exécutives .....	22
6	Modèle de régression linéaire sur les performances exécutives et la durée du séjour .....	23
7	Modèle de régression linéaire sur les performances exécutives et le score à l'échelle Glasgow Outcome Scale Extended (GOSE) .....	24
8	Modèle de régression logistique binaire sur les performances exécutives et la probabilité d'être dirigé en établissement de réadaptation à l'interne .....	26
9	Résumé des principaux résultats .....	57

## **Liste des abréviations**

APT: amnésie post-traumatique

BADS: Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome

BREF: Batterie rapide d'efficacité frontale

CUSM-HGM: Centre universitaire de santé McGill-Hôpital général de Montréal

D-KEFS: Delis-Kaplan Executive Function System

DRS: Disability Rating Scale

ECG: Échelle de coma de Glasgow

FE: fonction(s) exécutive(s)

GOS: Glasgow Outcome Scale

GOSE: Glasgow Outcome Scale Extended

ICM: Interférence couleur-mot

MEM: Échelle clinique de mémoire de Wechsler

ROC: Receiver Operating Characteristic

TCC: traumatisme craniocérébral

TMT: Trail Making Test

WAIS: Échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes

*« Success is no accident. It is hard work, perseverance, sacrifice and most of all, love of what you are doing. »*

Edson Arantes do Nascimento

## **Remerciements**

Je tiens à remercier sincèrement ma directrice de recherche, Éleine de Guise, qui a su m'accompagner avec bienveillance tout au long de ce projet. Merci pour ta pertinence, ton dévouement et ta confiance. Je me sens privilégiée d'avoir pu travailler auprès d'une professionnelle aussi accomplie et inspirante.

Un énorme merci à ma codirectrice de recherche, Maude Laguë-Beauvais, qui a mis beaucoup de temps et de cœur dans ce projet. Au-delà des compétences que tu m'as transmises en recherche, tu as su m'apporter énormément en tant que clinicienne. Merci pour ta générosité.

Je tiens à remercier tous les patients qui ont participé à ce projet de recherche, qui ont su donner de leur temps malgré l'épreuve difficile qu'ils traversaient. Merci d'avoir contribué à cette recherche, et à mon cheminement professionnel par le fait même.

Merci à mes superviseurs de stage, Stephan Kennepohl, Bruno Gauthier et Catherine-Marie Vanasse. Travailler sous votre aile m'a grandement permis d'améliorer ma pensée critique et mes compétences cliniques, en plus de faire germer le développement de mon identité professionnelle.

Merci à mon conjoint, Dave, qui a su m'accompagner et m'épauler tout au long de mes études universitaires. Bien que les études soient parsemées d'embûches, tu as toujours été présent pour illuminer mon quotidien. Je tiens finalement à remercier ma famille, qui a toujours su m'encourager dans la poursuite de mes études. Vous avez toujours cru en moi, mais surtout, vous m'avez appris à croire en moi-même.

La reconnaissance que je vous porte est inestimable. Grâce à vous tous, je me sens prête à franchir une nouvelle étape et à évoluer professionnellement dans ce domaine qui me passionne.

## **Position du problème**

Le traumatisme craniocérébral (TCC) est une cause majeure d'invalidité et de décès (Diaz-Arrastia et Vos, 2015), altérant significativement le quotidien des survivants par ses conséquences physiques, comportementales, émotives et cognitives (Ciurli et al., 2011; Ponsford et al., 2014; Rabinowitz et Levin, 2014). Les lobes frontaux sont des régions cérébrales particulièrement sensibles au TCC (Luria, 1966). Ceux-ci sous-tendent majoritairement le fonctionnement exécutif (Luria, 1966; Norman et Shallice, 1986), qui est par conséquent fréquemment altéré après un TCC (Draper et Ponsford, 2008). Parmi les études évaluant cette altération, la vaste majorité a évalué les fonctions exécutives (FE) plusieurs mois, voire plusieurs années suivant le TCC. Très peu ont porté sur leur altération à court terme, soit en phase aiguë de récupération. Lorsque ce fut le cas, les études recensées comportaient des limites importantes, comme de petits échantillons cliniques, l'utilisation de tests difficilement administrables au chevet, une absence de groupe contrôle comparable ou un manque de sensibilité des outils utilisés. Pourtant, les FE ayant un rôle central dans l'autonomie et l'ajustement aux situations nouvelles (Mazaux et al., 1997), leur altération risque d'avoir un impact considérable sur le devenir du patient. Plusieurs études ont d'ailleurs relié les FE au devenir fonctionnel (Boake et al., 2001; Clarks et al., 2019; Green et al., 2008; Mazaux et al., 1997; Millis et al., 1994; Ponsford et al., 2008; Spitz et al., 2012; Rakers et al., 2018; Struchen et al., 2008), mais la vaste majorité porte sur le devenir à long terme; peu d'entre elles se sont intéressées au court terme. Ainsi, la valeur prédictive des tâches neuropsychologiques ciblant les FE sur le devenir à court terme est méconnue dans la littérature. Dans la présente recherche, nous proposons d'explorer les FE des patients TCC en phase aiguë de récupération en les comparant à celles d'un groupe contrôle de patients ayant subi des blessures traumatiques sans TCC. Les épreuves utilisées sont facilement administrables au chevet et elles sont basées sur un modèle théorique du fonctionnement exécutif soutenu par de nombreuses études (Miyake et al., 2000). Cet essai doctoral portera également sur l'exploration des associations entre les performances obtenues aux épreuves des FE et le devenir fonctionnel à court terme des patients qui ont subi un TCC. Par le fait même, nous critiquerons la pertinence clinique des outils sélectionnés, soit leur capacité à discriminer les individus TCC en contexte d'hospitalisation et à prédire le devenir à court terme des patients.

## **Contexte théorique**

### **1. Le traumatisme craniocérébral**

#### **1.1 Définition**

Le traumatisme craniocérébral est défini comme une altération du fonctionnement cérébral ou autre évidence d'une pathologie cérébrale causée par une force externe (Menon et al., 2010). Cette force peut résulter de l'impact d'une collision entre la tête et un objet, d'un mouvement d'accélération/décélération sans traumatisme externe direct à la tête, d'un corps étranger pénétrant le cerveau ou encore d'événements tels une explosion (Menon et al., 2010).

Le TCC est diagnostiqué lorsque l'apparition des signes cliniques et des symptômes coïncide avec un impact direct ou indirect à la tête (Menon et al., 2010). Les signes probants du TCC sont la perte de conscience, une amnésie des événements précédant ou suivant immédiatement le traumatisme (amnésie post-traumatique ou APT), une altération de l'état mental suivant la blessure, des déficits neurologiques (perte sensorielle, faiblesse, altération de la vision, etc.) qui peuvent se résorber ou pas, ou des lésions intracrâniennes. Au moins un des facteurs mentionnés ci-haut est requis pour soutenir la présence d'un TCC (Department of Veterans Affairs and Department of Defense, 2009; Menon et al., 2010).

Les TCC résultent d'une combinaison de blessures primaires (directement attribuables à des forces externes mécaniques) focales et diffuses et sont généralement accompagnés de dommages secondaires dus à des complications au sein du système nerveux (Jones et al., 1994). Les blessures primaires comprennent généralement des contusions causées par l'impact du cortex contre les protubérances crâniennes (Azouvi et al., 2017), ainsi que les lésions axonales diffuses (Adams et al., 1982), ces dernières étant causées par les forces d'accélération et de décélération créant un étirement des axones allant jusqu'au cisaillement. De telles lésions engendrent une dégénérescence des axones et de la myéline (Strich, 1956). Les blessures secondaires, quant à elles, comprennent notamment l'œdème cérébral (Pappius, 1974), les lésions hypoxiques (Menon et al., 2004) et ischémiques (Coles et al., 2004), l'augmentation de la pression intracrânienne (Johnston et al., 1970), l'hydrocéphalie (Cardoso et Galbraith, 1985), les infections et d'autres mécanismes telle l'inflammation (Ramlackhansingh et al., 2011).

## 1.2 Prévalence

Chaque année aux États-Unis, environ 1,7 million d'individus subissent un TCC, incluant 52 000 décès ainsi que 275 000 hospitalisations parmi les survivants (Faul et al., 2010). Approximativement 3,2 millions d'Américains vivraient avec une invalidité associée à un antécédent de TCC (Zaloshnja et al., 2008). Les enfants de quatre ans et moins, les adolescents de 15 à 19 ans ainsi que les adultes de plus de 65 ans sont les plus susceptibles de subir un TCC. Tous âges confondus, les principales causes du TCC sont les chutes (35,2%), les accidents impliquant un véhicule motorisé (17,3%), les collisions à la tête (16,5%) et les agressions (10%) (Faul et al., 2010).

## 1.3 Degrés de sévérité

Le TCC se divise typiquement en trois niveaux de sévérité, soit léger, modéré et sévère (OMS, 1992). Trois principaux indices sont utilisés pour déterminer la sévérité. En premier lieu, le score à l'Échelle de coma de Glasgow (ECG) (Teasdale et Jennett, 1974) est utilisé. Il s'agit d'une échelle de l'altération de l'état de conscience qui repose sur des signes cliniques observables, soit la réponse motrice, la réponse verbale et l'ouverture des yeux. Les durées de la perte de conscience et de l'APT sont également utilisées comme indicateurs de la sévérité (Menon et al., 2010). L'APT correspond au délai entre la blessure et le moment où le patient est orienté dans le temps et en mesure de mémoriser de nouvelles informations (Russell et Smith, 1961). Les degrés de sévérité en fonction du score à l'ECG, de la durée de la perte de conscience et de l'APT sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1. Critères d'évaluation de la sévérité d'un TCC

Critère	Sévérité du TCC		
	Léger <sup>1</sup>	Modéré	Grave
Score à l'ECG	13-15	9-12	3-8
PdC	< 30 min	30 min - 24 h	> 24 h
APT	< 24 h	1-7 jours	> 7 jours

*Note.* ECG = Échelle de coma de Glasgow; PdC = Durée de la perte de conscience; APT = Durée de l'amnésie post-traumatique.

---

<sup>1</sup> Les TCC légers dont la tomodensitométrie cérébrale (CT scan) révèle un saignement au cerveau seront sous-catégorisés « complexes », alors que ceux sans saignement seront plutôt classés « simples ».

## **1.4 Conséquences du TCC**

Le TCC peut engendrer des symptômes à court, moyen et long terme dans de multiples domaines. Des symptômes neurologiques peuvent par exemple être secondaires à la blessure, le TCC étant associé avec une plus grande incidence d'épilepsie (Annegers et al., 1998), de trouble du sommeil (McLean et al., 1984) et de maladies neurodégénératives (Plassman et al., 2000). Des symptômes physiques sont également fréquents, comme les céphalées, la fatigue et des troubles de l'équilibre (Ponsford et al., 2014). Des impacts psychologiques et comportementaux sont aussi répertoriés, comme l'apathie, l'irritabilité, l'agitation et une humeur dépressive (Ciurli et al., 2011). De plus, des enjeux cognitifs sont fréquemment soulevés (Holdnack et al., 2017); la section suivante est d'ailleurs consacrée aux enjeux cognitifs séquellaires au TCC.

### **1.4.1 Conséquences sur la cognition**

Il importe d'abord de se rappeler qu'il existe une grande hétérogénéité des profils cognitifs suivant un TCC; deux patients avec un TCC de même degré de sévérité peuvent présenter des profils neuropsychologiques très différents. Lors d'un TCC léger, on note principalement des difficultés attentionnelles (Cicerone, 1996), un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information (Levin et al., 2013), une difficulté de récupération de matériel verbal en mémoire (Nolin, 2006) et de la fatigabilité mentale (Ponsford et al., 2000). Pour les TCC modérés à graves, un ralentissement de la vitesse de traitement de l'information (Ponsford et Kinsella, 1992; Stuss et al., 1989), ainsi que des difficultés de mémoire plus importantes sont rapportés, ces dernières représentant les plaintes subjectives les plus fréquentes (Jourdan et al., 2016; Van Zomeren et Van den Burg, 1985). Les difficultés mnésiques sont notables dans la sphère visuelle comme verbale (Carlozzi et al., 2013) et se répercutent notamment dans les capacités d'apprentissage, lesquelles requièrent plus de temps et sont caractérisées par des oublis plus rapides (Crosson et al., 1988; Shum et al., 2000; Vanderploeg et al., 2001). Des difficultés attentionnelles (Stuss et al., 1989; Richard et al., 2018), ainsi qu'un accroissement de la fatigabilité mentale (Olver et al., 1996) sont aussi observés. La littérature met également en exergue des difficultés langagières pour tous les niveaux de sévérité, entre autres en dénomination, en lecture, en fluence verbale (Gauthier et al.,

2018), ainsi que des difficultés de compréhension et de discours associées à un degré de sévérité plus élevé (Gauthier et al., 2018; Mathias et al., 2007; Snow et al., 1998). En plus de ces difficultés cognitives, une altération du fonctionnement exécutif à la suite du TCC est fréquemment rapportée dans la littérature (Draper et Ponsford, 2008). Ce type de fonctions sera maintenant abordé de manière détaillée.

## **2. Les fonctions exécutives**

### **2.1 Description**

Les fonctions exécutives (FE) sont un groupe de fonctions cognitives cruciales pour la formation d'objectifs, la planification de leur réalisation et leur monitoring tout au long de leur exécution (Chevignard et al., 2008; Luria, 1966). Il s'agit d'un groupe de fonctions particulièrement vulnérables aux lésions cérébrales (Luria, 1966; Shallice, 1982; Shallice et Burgess, 1991) (voir Rabinowitz et Levin (2014) pour une revue de la littérature à ce sujet). Plus concrètement, les FE permettent de réfléchir avant d'agir, de manipuler mentalement des idées et de l'information diverse, de répondre adéquatement à des situations nouvelles ou inattendues, de résister à la tentation et de demeurer concentré (Burgess et Simons, 2005; Epsy, 2004; Miller et Cohen, 2001). Elles sont ainsi à la base de nombreuses habiletés émotionnelles (Jahromi et Stifter, 2008; Sperduti et al., 2017), cognitives (Stuss et Alexander, 2000) et sociales (Hofmann et al., 2012), en plus de jouer un rôle important dans le succès au travail (Bailey, 2007) et à l'école (Borella et al., 2010; Duncan et al., 2007; Gathercole et al., 2004), dans l'harmonie maritale (Eakin et al., 2004) et dans la santé physique (Crescioni et al., 2011, Miller et al., 2011).

La communauté scientifique n'a pas établi un consensus sur la définition des FE. En effet, même s'il semble y avoir un accord sur leurs rôles, il y a divergence dans la littérature sur ce en quoi elles consistent précisément (Suchy et al., 2017). Plusieurs modèles proposent une composition de ces fonctions, notamment Norman et Shallice (1986), Miyake et al. (2000), Stuss (2011), Lezak et al. (2012) et Suchy (2015). La présente recherche s'appuie sur le modèle de Miyake pour classifier les FE. Il s'agit d'un modèle dominant dans la littérature, qui offre une description détaillée de chacune des composantes du fonctionnement exécutif. Son modèle exécutif à trois composantes est actuellement le plus représenté dans la littérature (Karr et al., 2018).

## **2.2 Modèle de Miyake**

Miyake et al. (2000) mettent en évidence trois FE principales, soit la flexibilité mentale, la mise à jour en mémoire de travail et l'inhibition. Ces trois composantes seraient à la fois distinctes et corrélées entre elles (Miyake et al., 2000).

### **2.2.1 Flexibilité mentale**

La flexibilité mentale est la faculté d'alterner de façon dynamique entre différentes tâches, opérations ou registres mentaux (Miyake et al., 2000). Plus que la simple capacité de se désengager d'une tâche pour s'engager dans une nouvelle, la flexibilité mentale implique la capacité de performer une nouvelle tâche en dépit de l'interférence proactive de la précédente (Miyake et al., 2000). La persévération, soit la tendance rigide à répéter la même réponse sans arrêt dans un contexte qui n'est plus approprié, est souvent d'ailleurs interprétée comme une atteinte de la flexibilité mentale (Miyake et al., 2000).

### **2.2.2 Mise à jour**

Cette fonction réfère à la mise à jour et au monitoring des représentations en mémoire de travail. Elle permet d'intégrer en mémoire de travail les informations entrantes pertinentes pour la tâche en cours et de réviser le contenu de la mémoire de travail en remplaçant graduellement les éléments devenus non pertinents par des informations plus récentes et adaptées (Miyake et al., 2000). C'est une manipulation active d'informations.

### **2.2.3 Inhibition.**

L'inhibition en tant que composante exécutive fait référence à la suppression délibérée et contrôlée de la réponse prépondérante. Il s'agit de la capacité de l'individu de retenir délibérément une réponse automatique ou dominante lorsque nécessaire (Miyake et al., 2000).

## **2.3 Impact du TCC sur les FE**

Les recherches tendent à démontrer que les difficultés exécutives seraient principalement, mais non exclusivement (Heyder et al., 2004), reliées à des lésions du lobe frontal (Luria, 1966; Norman et Shallice, 1986). Des changements de personnalité et du comportement à la suite de lésions frontales ont été soulevés dans la littérature depuis de nombreuses années, l'exemple clinique le plus célèbre étant celui de Phineas Gage (Harlow, 1868). Il importe toutefois de demeurer prudent dans l'association entre les régions frontales et les FE (Baddeley et al., 1997). Cette association n'est pas absolue; certains patients présentant des lésions frontales ne démontrent aucune atteinte dans des tâches exécutives (Shallice et Burgess, 1991), et d'autres patients lésés

ailleurs qu'en région frontale présentent de faibles performances à ces mêmes tâches (Anderson et al., 1991). Par ailleurs, les FE seraient également sensibles aux dommages sous-corticaux (Cummings, 1994; Heyder et al., 2004). Toutefois, puisque les régions frontales du cerveau soutiennent en majeure partie le fonctionnement exécutif (Luria, 1966; Norman et Shallice, 1986) et que le lobe frontal est la région la plus vulnérable aux TCC (McDonald et al., 2002; Rabinowitz et Levin, 2014), les FE sont particulièrement à risque d'être altérées lors d'un TCC, même léger (Draper et Ponsford, 2008).

En 1993, Levin et collaborateurs ont administré le *Wisconsin Card Sorting Test* auprès de patients TCC au moins trois mois après leur accident et ont obtenu des performances en *flexibilité cognitive* plus faibles que chez les patients contrôles, la performance étant d'ailleurs corrélée au niveau de sévérité (Levin et al., 1993). Caeyenberghs et al. (2014) ont également obtenu des résultats plus faibles chez les patients TCC en moyenne 4 ans post-TCC à des tâches de *flexibilité cognitive* comparativement à des individus contrôles.

Les études ayant examiné l'effet du TCC sur la *mise à jour* en mémoire de travail sont peu nombreuses. Perlstein et al. (2004) ont effectué une tâche de *n-back* auprès de 42 cérébrolésés de toutes sévérités confondues en moyenne huit ans post-TCC. Cette tâche consiste à présenter une série de stimuli au patient, et celui-ci doit mentionner si chacun d'entre eux correspond aux derniers stimuli présentés. Les résultats obtenus indiquent une performance plus faible chez les patients avec un TCC modéré ou grave comparativement aux individus contrôles ou ayant un TCC léger (Perlstein et al., 2004). Ces résultats convergent avec ceux de McDowell et collaborateurs (1997) qui ont étudié la mémoire de travail entre dix semaines et dix ans post-TCC.

Draper et Ponsford (2008), quant à eux, ont réalisé une étude auprès de 60 patients ayant un TCC (toutes sévérités confondues) datant de 10 à 12 ans et ont obtenu des résultats plus faibles au Hayling Completion Test comparativement aux individus contrôles. Ces résultats appuient ainsi l'altération de l'*inhibition* de la réponse prédominante comme conséquence d'un TCC, tout comme les études de Bonatti et al. (2008), Fonseca et al. (2012) et Perianez et al. (2007) ainsi que la méta-analyse de Dimoska-Di Marco et al. (2011).

Les études précédemment mentionnées portent sur les impacts exécutifs du TCC à plus long terme, soit quelques mois à quelques années après l'accident. Des études plus récentes ont également investigué les FE post-TCC en phase chronique et ont obtenu des résultats similaires,

soit une altération des FE comparativement à des individus en santé sans TCC (Mozafari et al., 2019; Osborne-Crowley et al., 2019; Pettemeridou et al., 2020). Peu d'études se sont directement intéressées à l'altération exécutive dans les premiers jours suivant le TCC, soit en période aiguë de récupération. Une des raisons pouvant expliquer le nombre limité d'études dans ce domaine est que l'évaluation au chevet des patients ayant subi un TCC est plus ardue, notamment en raison de leur fatigabilité, des blessures et douleurs physiques conséquentes à l'accident et des distractions ambiantes associées au contexte hospitalier. Parmi les études existantes, l'équipe de Rojas (2018) a évalué le fonctionnement exécutif à l'aide de la Batterie rapide d'efficacité frontale (BREF), une courte batterie de six sous-tests qui a été spécifiquement développée pour l'évaluation frontale des patients au chevet (Dubois et al., 2000). Cette étude a permis de soulever des difficultés exécutives chez les patients, mais ne comportait pas de groupe contrôle apparié et l'outil n'était pas suffisamment sensible pour discriminer les différents niveaux de sévérité. Brooks et al. (1999) ont trouvé des résultats significativement plus faibles à des mesures de fonctionnement exécutif chez les patients TCC en centre de traumatologie comparativement au groupe contrôle, mais le groupe TCC était limité à 11 patients de sévérité légère. Ghawami et al. (2017), quant à eux, ont comparé des patients quelques jours après un TCC avec des individus contrôles pour différents sous-tests de la D-KEFS (*Delis-Kaplan Executive Function System*) et de la BADS (*Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome*) et ont obtenu des résultats significativement plus faibles chez les patients TCC pour toutes les mesures exécutives effectuées. Toutefois, l'échantillon clinique était limité à neuf hommes uniquement, et certains tests utilisés n'étaient pas adaptés à l'administration au chevet du patient (p. ex. la Tour de la D-KEFS et le Modified Six Elements Test de la BADS). De Freitas Cardoso et al. (2019) ont comparé les performances exécutives, parmi d'autres fonctions cognitives, de patients ayant subi un TCC léger moins de 24h auparavant à ceux d'un groupe contrôle. Ils ont utilisé la BREF ainsi qu'une tâche de séquences de chiffres et ont trouvé une distinction pour la BREF seulement. Toutefois, l'éventail de tests exécutifs était restreint et l'échantillon clinique était limité à des TCC de sévérité légère.

D'autres études ont également observé des performances exécutives plus faibles chez des individus TCC en phase aiguë comparativement à des contrôles, mais comme ces études abordaient plusieurs types de fonctions cognitives différentes, les FE n'étaient pas investiguées en profondeur (Dall'Acqua et al., 2017; de Freitas Cardoso et al., 2019; Veeramuthu et al., 2015). Barker-Collo et al. (2015) ont évalué le fonctionnement exécutif chez des individus TCC, principalement par la

*Behavioral Dyscontrol Scale* (Grigsby et al., 1992), et ont trouvé des scores exécutifs très faibles un mois post-TCC chez près de 20% des patients. Ils n'étudiaient toutefois que les TCC légers et n'avaient pas de groupe contrôle.

En somme, à ce jour, la littérature sur le fonctionnement exécutif au cours des premiers jours ou semaines post TCC est insuffisante et n'offre pas de données probantes solides pour les cliniciens qui interviennent auprès de cette clientèle. De surcroît, il est essentiel de dresser un portrait valide des FE puisque ces dernières ont un rôle central dans l'autonomie et l'ajustement aux situations nouvelles (Mazaux et al., 1997), leur altération risquant d'avoir un impact considérable sur le devenir du patient.

#### **2.4 Prédiction du pronostic à court terme**

Le devenir fonctionnel à court, moyen et à long terme est variable d'un patient TCC à l'autre. De nombreux paramètres en jeu semblent être à l'origine de cette importante variabilité en influençant directement ou indirectement le pronostic. Plusieurs études se sont penchées sur les variables influençant le pronostic plusieurs semaines, plusieurs mois et plusieurs années suivant un TCC. Ces études suggèrent notamment que l'âge (de Guise et al., 2005; Jiang et al., 2002; Katz et Alexander, 1994; Ono et al., 2001; Spitz et al., 2012; Whiteneck et al., 2004), le niveau d'éducation (de Guise et al. 2005; de Guise et al., 2017; Spitz et al., 2012), le résultat initial ou à l'admission de l'ECG ainsi que la sévérité du TCC (Asikainen et al., 1998; Cifu et al., 1997; de Guise et al., 2017; Harris et al., 2000; Ono et al., 2001; Rassovsky et al., 2015) sont associés avec le pronostic fonctionnel du patient qui a subi un TCC.

Les habiletés cognitives post-TCC sont également identifiées comme étant des variables prédictives du pronostic fonctionnel à long terme comme à court terme (Atchison et al., 2004; Bélisle, 2017; Clark et al., 2020; Hammond et al., 2004; Hart et al., 2019; Novack et al., 2001; Ponsford et al., 2008; Rojas et al., 2018; Sherer et al., 2002; Spitz et al., 2012). Rassovsky et collaborateurs (2006) mentionnent d'ailleurs que, parmi le large éventail de paramètres étudiés, les symptômes d'ordre cognitif semblent être ceux ayant l'impact fonctionnel le plus direct chez les patients qui ont subi un TCC modéré à grave. Spitz (2012) parvient aux mêmes conclusions et avance de surcroît que, au sein même des fonctions cognitives, les FE sont celles étant les plus reliées au devenir fonctionnel du patient.

Les individus qui présentent de bonnes FE sont plus autonomes dans la poursuite de leurs activités quotidiennes (Clark et al., 2020; Struchen et al., 2008). En effet, lorsqu'un individu éprouve des difficultés significatives à répondre aux changements de son environnement de façon adaptée, son habileté à fonctionner au quotidien est impérativement altérée. Selon Vilkki et al. (1994), les tests de flexibilité mentale et de programmation mentale (processus permettant de choisir et réaliser des étapes réalistes en fonction de ses capacités afin de parvenir à la réalisation d'un but) sont les meilleurs prédicteurs de la récupération psychosociale un an après un TCC. Cela peut s'expliquer, selon Mazaux et collaborateurs (1997), par le fait que la flexibilité et la programmation mentale jouent un rôle majeur dans l'ajustement à la communauté, dans l'indépendance et dans la capacité à s'ajuster aux situations variables et non structurées. Les patients rigides et présentant des comportements de persévération sont généralement en mesure de s'engager dans des comportements routiniers et surappris, mais éprouvent de la difficulté à planifier des buts réalistes en fonction de leurs ressources et de leurs capacités (Mazaux et al., 1997). Rakers et collaborateurs (2018) ont également trouvé une association entre les habiletés d'adaptation et la flexibilité cognitive chez les TCC. Des FE altérées sont, par conséquent, des facteurs majeurs associés avec la perte d'autonomie sociale, la perte de capacité fonctionnelle et un pauvre taux de retour au travail longtemps après le TCC (Clark et al., 2020; Mazaux et al., 1997). L'altération du fonctionnement exécutif représente effectivement un obstacle majeur dans le retour au travail, dans le fait de préserver son emploi et dans l'intégration sociale, tel que mesuré par la *Craig Handicap Assessment and Reporting Technique* (version courte) dans l'étude de Struchen et al. (2008). De plus, Green et al. (2008) suggèrent que les résultats à des évaluations des FE cinq mois post-TCC sont prédicteurs de la productivité un an après l'accident, définie entre autres par le retour ou l'engagement dans des activités comme le travail, le bénévolat, l'école, les activités physiques ou les activités domestiques. Ces résultats convergent avec ceux de Boake et al. (2001) sur le retour à la productivité entre un an et quatre ans suivant le TCC et avec ceux de Millis et al. (1994) sur la réintégration dans la communauté un an après l'accident. L'équipe de Theodom et al. (2019) mentionne d'ailleurs qu'une altération des FE à la suite du TCC léger est associée avec de moindres habiletés à effectuer des inférences sociales quatre ans après l'accident. Même 10 ans après l'accident, l'état des FE différencie significativement les individus avec un bon pronostic de ceux ayant un pronostic pauvre à la mesure de devenir fonctionnel *Glasgow Outcome Scale* (Ponsford et al., 2008). À court terme, cependant, le nombre d'études sur la valeur prédictive des FE sur le

pronostic est limité. L'équipe de Rojas (2018) suggère notamment un lien entre le résultat à la BREF, mesure du fonctionnement exécutif, et le devenir fonctionnel du patient.

En somme, les études sur l'état des FE peu de temps après un TCC ainsi que leur relation avec le pronostic à court terme sont peu nombreuses, et les études existantes comportent des limites importantes, comme de petits échantillons cliniques, l'absence d'un groupe contrôle, un manque de sensibilité des outils ou des tests difficilement administrables au chevet. Une limite supplémentaire est que, parmi les études en phase aiguë ayant utilisé un groupe contrôle, ce dernier était constitué d'individus en santé. Toutefois, rappelons que le groupe contrôle et le groupe clinique ne diffèrent pas seulement par la présence du TCC, mais également par le propre fait d'avoir été impliqué dans un accident, ainsi que par une panoplie de variables relatives au contexte d'hospitalisation. La fatigue, le sommeil perturbé, la douleur, la médication, une humeur anxiodépressive et les distractions ambiantes liées à une hospitalisation peuvent par exemple influencer les performances. L'utilisation d'un groupe de patients hospitalisés pour des blessures extra-crâniennes comme groupe contrôle peut ainsi compenser cette variabilité puisqu'ils partagent également les mêmes variables que le groupe TCC hospitalisé (Dikmen et Levin, 1993; Satz et al., 1999). L'étude de McCauley et al. (2014) illustre bien la pertinence d'utiliser un groupe contrôle de patients avec blessures traumatiques pour les comparer avec les patients TCC. L'équipe de recherche a, entre autres, comparé les performances cognitives de patients TCC avec des patients ayant des blessures orthopédiques sans TCC et des participants en santé. Les résultats suggèrent que, pour certains tests (notamment les tâches de fluence verbale), les participants TCC diffèrent des participants en santé, mais pas des patients avec blessures orthopédiques (McCauley et al., 2014). Les limites mentionnées dans plusieurs études invitent justement à effectuer de nouvelles études avec des échantillons vastes afin d'identifier le profil des FE dans les premiers jours suivant le TCC et à comparer ces résultats à un groupe contrôle plus similaire.

Il importe de prendre des décisions très tôt à la suite du TCC, dès les soins aigus, afin de prédire le niveau d'autonomie fonctionnelle des patients et de contribuer à cibler des objectifs précis en réadaptation cognitive. Puisqu'une association entre le pronostic des patients et leur fonctionnement exécutif est suggérée, il semble cohérent d'intégrer des mesures du fonctionnement exécutif dans l'évaluation précoce du patient, préférentiellement mesurables par des tests réalisables au chevet, afin d'avoir une idée plus juste du pronostic et ainsi aider les professionnels de la santé à mieux guider les patients et leur famille au congé. Par conséquent, il est essentiel

d'aborder la pertinence clinique de certains outils dans l'identification des atteintes exécutives et dans la prédiction du devenir fonctionnel.

## **2.5 Objectifs et hypothèses**

L'objectif général de cette étude est d'évaluer les FE des patients atteints d'un TCC en phase aiguë de récupération à l'aide de différents tests et de déterminer si les tests sélectionnés sont des outils pertinents à l'évaluation du TCC en contexte hospitalier. L'objectif principal est de comparer les résultats aux tâches exécutives (c'est-à-dire mesurant la flexibilité cognitive, la mise à jour et l'inhibition) d'un groupe de patients atteints d'un TCC à ceux d'un groupe contrôle de patients ayant subi des blessures traumatiques sans TCC et ce, en phase aiguë de récupération. Ceci a pour but de déterminer quels tests exécutifs permettent de discriminer les deux groupes en phase aiguë, démontrant ainsi une valeur diagnostique pertinente dans le contexte de l'évaluation TCC en phase précoce de récupération. Nous émettons l'hypothèse que les patients TCC auront des performances moindres à toutes les tâches proposées en comparaison avec le groupe contrôle de patients ayant subi des blessures traumatiques. Le second objectif est de nature exploratoire et consiste à déterminer quels tests neuropsychologiques, parmi ceux étudiés, permettent de prédire le devenir fonctionnel à court terme des patients TCC. Nous proposons que des performances supérieures aux tâches proposées seront associées à des séjours en soins aigus plus courts, à davantage d'autonomie fonctionnelle au congé des soins aigus de même que davantage de chance d'obtenir son congé à la maison (avec ou sans réadaptation à l'externe) plutôt qu'en centre interne de réadaptation. Ainsi, nous désirons déterminer si les outils sélectionnés sont pertinents pour guider les professionnels dans leur décision quant au congé du patient.

## **Méthodologie**

### **1. Participants**

Les patients ont été recrutés et évalués au Centre Universitaire de Santé McGill-Hôpital général de Montréal (CUSM-HGM). Tous les patients âgés de plus de 18 ans ayant subi un TCC (toutes sévérités confondues) ou ayant subi des blessures traumatiques ou orthopédiques sans TCC et admis en soins de traumatologie, et ne remplissant pas les critères d'exclusion, ont été invités à participer. Les critères d'exclusion suivants sont valides pour les deux groupes : présence d'un trouble antérieur neurologique ou psychiatrique majeur diagnostiqué, antécédent d'un TCC diagnostiqué dans le passé, d'un trouble chronique de consommation abusive d'alcool ou de drogues, d'une condition médicale aiguë (ex. pneumonie), de la prise d'un narcotique intraveineux, d'une aphasie, d'une difficulté à s'exprimer couramment en français ou en anglais, d'une incapacité à collaborer à une évaluation ou encore d'une inaptitude à consentir. Pour le groupe de patients TCC, le diagnostic médical et la sévérité du TCC ont été établis par un médecin. Les patients du groupe TCC ayant également subi des traumatismes au reste du corps ont aussi pu être sollicités. À l'exception du TCC, les blessures incluses dans l'étude pour les patients du groupe contrôle sont les mêmes que celles du groupe TCC. Les patients qui présentent les blessures suivantes ont été inclus : traumatismes thoraciques, contusion pulmonaire, lacération du foie, de la rate, du duodénum ou du diaphragme, fracture du bassin, des membres supérieurs et inférieurs, du sternum et volet costal. Les patients avec blessures de la colonne ont été exclus ainsi que ceux ayant des blessures cardiaques et ceux ayant des fractures complexes du bassin. Ce projet de recherche a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche du CUSM (2018-3985) et par le comité éthique du CEREP de l'Université de Montréal (CERAS-2017-18-242-D).

### **2. Instruments de mesure**

Les mesures neuropsychologiques ont été sélectionnées en fonction de leur facilité à être administrées au chevet des patients. Ceci a pour but de déterminer quels tests exécutifs adaptés au contexte de soins aigus se révèlent pertinents pour la caractérisation des FE chez les patients TCC et la prédiction du devenir à court terme.

## **2.1 Les FE**

### **2.1.1 Flexibilité mentale**

Trois différents tests ont été administrés pour mesurer cette fonction. La première tâche est le Traçage de pistes (Trail Making test ; TMT) A et B (Reitan, 1955). Cette épreuve sollicite les habiletés visuelles et psychomotrices en plus de la flexibilité mentale. La partie A du test ne demande que de relier des chiffres en ordre croissant, alors que la partie B requiert de les relier en alternance avec des lettres en ordre alphabétique. Le score brut au TMT B a été intégré aux analyses, de même qu'un ratio des deux conditions (temps B / temps A) afin de considérer la deuxième condition en éliminant l'impact probable de la vitesse de traitement sur ce résultat. Un score brut au TMT B et un ratio plus élevé indiquent des performances moindres. Le sous-test Fluidité alternée de la *Delis-Kaplan Executive Function System* (D-KEFS ; Delis et al., 2001), où le participant doit fournir en 60 secondes le plus de mots possible en alternant entre deux catégories sémantiques, a également été utilisé. Le nombre d'alternances est comptabilisé. Un score plus élevé est donc indicateur d'une meilleure performance. Finalement, le test d'Interférence couleur-mot (ICM) de la D-KEFS (Delis et al., 2001) a été sélectionné. Les planches 1 (où le participant doit nommer la couleur des carrés), 2 (où il doit lire des mots) et 4 (où il doit alterner entre nommer la couleur de l'encre dans laquelle des mots sont écrits et lire les mots qui sont dans des encadrés) ont été utilisées pour faire un ratio ( $[\text{moyenne des temps 1 et 2} \times 100] / \text{temps 4}$ ), ce dernier étant analysé dans cette étude. Un ratio plus élevé indique une meilleure performance.

### **2.1.2 Mise à jour**

Deux tests ont cette fois-ci été utilisés pour évaluer cette fonction. Le score brut de la deuxième condition de la Séquence de chiffres de l'*Échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes* (WAIS-IV; Wechsler, 2008), allant de 0 à 16, a été sélectionné. Cette tâche consiste en 16 séries de chiffres de longueur variable à répéter dans l'ordre inverse, qui sont discontinuées après deux erreurs dans des séries de mêmes longueurs. Le Contrôle mental (CM) de l'*Échelle clinique de Mémoire de Wechsler* (MEM-III ; Wechsler, 1997) a également été retenu. Ce test mesure la capacité de récupérer et de manipuler mentalement l'information surapprise, notamment par la récitation de chiffres, de lettres, des jours de la semaine et des mois de l'année. Le score brut total a été considéré, pouvant varier de 0 à 40. Pour les deux tests, des scores élevés indiquent de bonnes performances.

### **2.1.3 Inhibition**

Le test Interférence couleur-mot de la D-KEFS a été considéré en faisant un ratio entre la planche 1 (où le patient doit nommer la couleur des carrés) et la planche 3 (où le patient doit nommer la couleur de mots non congruents avec leur signification) ( $[\text{temps } 1 \times 100] / \text{temps } 3$ ). Un ratio élevé indique une meilleure performance. Le test de Hayling (Burgess et Shallice, 1997), quant à lui, comprend 30 phrases où le dernier mot est manquant. Dans la moitié des cas, le participant doit compléter la phrase par le mot qui correspond au contexte et, pour l'autre moitié, par un mot non relié à la phrase. Le score d'erreurs converti de la condition 2 (obtenu en considérant le nombre et les types d'erreurs), de même que le ratio des temps de réponse (temps 2 / temps 1) ont été utilisés. Ces deux scores, lorsqu'ils sont élevés, sont aussi indicateurs de faibles performances. Finalement, les sous-tests Consignes conflictuelles et Go-No Go (respectivement les conditions 5 et 6) de la *Batterie rapide d'évaluation frontale* (BREF ; Dubois, 2000), où l'évaluateur tape sur une table et où le participant doit répondre en tapant de façon identique, contraire ou en inhibant toute réponse, ont été proposés aux participants. L'addition des deux scores bruts a été retenue pour les analyses, cette somme variant de 0 à 6. Un score plus élevé représente une meilleure performance.

## **2.2 Mesure du devenir fonctionnel**

Trois éléments ont été considérés comme mesures du devenir fonctionnel à court terme. En premier lieu, la durée du séjour (nombres de jours entre l'admission et le congé) a été comptabilisée, indiquant le temps requis afin que le patient puisse récupérer suffisamment pour avoir son congé. Ensuite, le *Glasgow Outcome Scale Extended* (GOSE ; Teasdale et al., 1998) a été utilisé. Cette échelle permet de mesurer la sévérité des déficits fonctionnels suivant un TCC en classant les patients selon huit catégories, allant de 1 (*décès*) à 8 (*récupération complète*). Le score est déterminé par un consensus obtenu par l'équipe multidisciplinaire lors du congé du patient. Enfin, la destination au congé a été aussi été considérée. Elle a été traitée comme une variable binaire, en considérant ces deux options : un retour à la maison (avec ou sans réadaptation externe) et un transfert en établissement de réadaptation à l'interne.

## 2.3 Procédure

Dans un premier temps, les dossiers médicaux des patients ont été consultés afin de recueillir les données sociodémographiques et médicales des patients, soit leur âge, leur sexe, leur nombre d'années de scolarité, leur occupation et leur condition médicale. La date de l'accident, le mécanisme de l'accident, la date d'évaluation, la sévérité du TCC (léger, modéré ou grave), le diagnostic attribué à la blessure traumatique et le score à l'ECG ont également été collectés. Les participants TCC et du groupe contrôle admis sur les étages de soins au CUSM-HGM qui étaient médicalement stables ont d'abord été approchés par une assistante de recherche. Celle-ci leur a proposé de participer à l'étude, et les participants volontaires ont signé un formulaire de consentement. Par la suite, une neuropsychologue ou des étudiantes au doctorat en neuropsychologie ont ensuite procédé à l'évaluation au chevet des patients. Une pause était proposée aux participants au besoin. La durée des tests sélectionnés pour l'étude totalise environ 45 minutes.

## 2.4 Analyses statistiques

Les analyses reposent sur un design expérimental inter-sujet. Pour le premier objectif, une série d'ANOVAs a été réalisée pour comparer les deux groupes (groupe TCC et groupe avec blessures traumatiques) en fonction des scores obtenus aux différents tests neuropsychologiques. De ce fait, les variables dépendantes sont les scores obtenus aux tests et la variable indépendante est le groupe d'appartenance. Pour les tests faisant état d'une différence significative entre les groupes, des courbes ROC (*Receiver Operating Characteristic*) ont été réalisées afin d'établir des valeurs seuils avec la sensibilité et la spécificité associées. Pour le second objectif, afin d'explorer le lien entre la performance cognitive et le devenir fonctionnel à court terme, des régressions linéaires simples ont été effectuées pour tous les tests. Premièrement, le modèle de prédiction a inclus les performances aux tests comme variable prédictive. La durée du séjour et le score obtenu à la GOSE ont été utilisés comme variables dépendantes. Ensuite, une régression logistique binaire a été effectuée afin de prédire la destination au congé. Encore une fois, les variables prédictives sont les résultats aux tests. La variable dépendante est la destination au congé. Dans tous les cas, le seuil de signification est  $p < 0,05$ . Puisque l'objectif 2 est de nature exploratoire, des corrections pour comparaisons multiples n'ont pas été effectuées.

## Résultats

### 1. Données démographiques et liées à l'accident

Un total de 70 participants TCC ont été inclus dans les analyses. En raison de données manquantes, le nombre de données obtenues pour ce groupe varie en fonction de chaque test neuropsychologique, allant de 49 à 67 participants. Le Tableau 2 indique le nombre de données et le pourcentage de données manquantes par test. Les participants TCC sont âgés de 18 à 84 ans ( $M = 47,97$  ans,  $ET = 19,89$ ), sont majoritairement des hommes (64,3%) et ont en moyenne 13,34 ans de scolarité ( $ET = 2,63$ ). Parmi les participants, 43 avaient un TCC léger (61,4%), 20 avaient un TCC modéré (28,6%) et 7 avaient un TCC sévère (10,0%). Les accidents étaient principalement dus à des chutes (54,3% des cas), mais également à des accidents impliquant un véhicule à moteur (32,9%), des agressions (4,3%) ou d'autres raisons (8,6%). Le nombre de jours entre l'accident et l'évaluation varie entre 0 et 153 jours ( $M = 15,74$ ,  $ET = 26,19$ ). Parmi les participants, 62,9% sont sur le marché du travail, 15,7 % sont des étudiants, 18,6 % sont retraités et 2,9% ne travaillent pas pour d'autres raisons. Le groupe de patients avec blessures traumatiques comporte 50 participants. Le nombre de données obtenues pour ce groupe varie en fonction de chaque test, allant de 39 participants à 49 (voir Tableau 1). Les participants de ce groupe sont âgés de 20 à 87 ans ( $M = 49,44$  ans,  $ET = 16,60$ ), sont majoritairement des hommes (72,0%) et ont en moyenne 12,29 ans de scolarité ( $ET = 2,76$ ). Les accidents sont majoritairement attribuables à des chutes (dans 54,2 % des cas), suivi des accidents impliquant un véhicule à moteur (29,2%), puis des agressions (2,0%). D'autres raisons expliquaient l'accident dans 14,0% des cas. Parmi ces participants, 73,4% sont sur le marché du travail, 12,2 % sont des étudiants, 10,2 % sont retraités et 4,1% ne travaillent pas pour d'autres raisons. Les deux groupes ne diffèrent pas en termes d'âge ( $t(118) = -0,43$  ;  $p = 0,671$ ), de genre ( $\chi^2(1) = 0,79$ ,  $p = 0,37$ ) ou de niveau de scolarité ( $t(111) = -1,84$  ;  $p = 0,07$ ).

Tableau 2

*Pourcentage de données manquantes par test en fonction des groupes*

	<b>Groupe TCC</b>		<b>Groupe contrôle</b>	
	<i>n</i>	% DM	<i>n</i>	% DM
<b>Flexibilité mentale</b>				
ICM (ratio condition 4)	49	30	39	22
TMT (ratio)	54	23	41	18
TMT (condition B)	54	23	41	18
Fluidité alternée	56	20	43	14
<b>Mise à jour</b>				
Empan de chiffres indirect	67	4	44	12
Contrôle mental	67	4	49	2
<b>Inhibition</b>				
ICM (ratio condition 3)	51	27	39	22
Hayling (score d'erreurs)	51	27	43	14
Hayling (ratio temps)	51	27	44	12
BREF (conditions 5 et 6)	55	21	42	16

*Notes.* n = nombre de données, DM = données manquantes, ICM = Interférence couleur-mot, TMT = Trail Making Test, BREF = Batterie rapide d'efficacité frontale

## 2. Analyse des différences entre les deux groupes

Le Tableau 3 présente les résultats moyens et les écarts-types en fonction du groupe pour chacun des tests.

Tableau 3

*Résultats moyens des scores bruts et écarts-types aux tests*

	Groupe TCC			Groupe contrôle		
	<i>n</i>	M	ET	<i>n</i>	M	ET
<b>Flexibilité mentale</b>						
ICM (ratio condition 4)	49	42,50	9,79	39	42,43	9,39
TMT (ratio)	54	2,83	1,02	41	2,49	0,64
TMT (condition B)	54	113,21	66,86	41	79,00	38,79
Fluidité alternée	56	12,80	3,48	43	14,84	3,02
<b>Mise à jour</b>						
Empan de chiffres indirect	67	7,42	2,20	44	8,64	2,38
Contrôle mental	67	22,52	5,94	49	27,16	5,50
<b>Inhibition</b>						
ICM (ratio condition 3)	51	53,72	12,55	39	55,01	8,48
Hayling (score d'erreurs)	51	15,17	15,59	43	9,51	9,89
Hayling (ratio temps)	51	6,78	4,85	44	4,34	2,90
BREF (conditions 5 et 6)	55	5,38	0,98	42	5,62	0,58

*Notes.* *n* = nombre de données ; M = moyenne ; ET = écart-type ; TMT = Trail Making Test, BREF = Batterie rapide d'efficacité frontale

Afin de répondre au premier objectif, une série d'ANOVAs a été réalisée pour comparer les moyennes des résultats obtenus aux tests pour chacun des deux groupes. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 4. Les tests différant en fonction des groupes sont la condition B du Trail Making Test, la Fluidité alternée, l'Empan de chiffres indirect, le Contrôle mental ainsi que le test de Hayling (ratio du temps ainsi que le score d'erreurs converti). Pour tous ces tests, tel que présenté dans le Tableau 2, les participants du groupe TCC présentent de moins bonnes performances que

les participants du groupe avec blessures traumatiques. Les tailles d'effets varient de moyennes (Empan de chiffres, erreurs au Hayling) à grandes (TMT B, Fluidité alternée, Contrôle mental, temps au Hayling). L'analyse des moyennes ne suggère pas de différence significative entre les groupes pour les tests Interférence couleur-mot (ratios associés aux conditions 3 et 4), le ratio du TMT et le score ciblé à la BREF.

Tableau 4

*Différences intergroupes aux différentes tâches*

	ANOVAs				
	F	ddl inter	ddl intra	<i>p</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
<b>Flexibilité mentale</b>					
ICM (ratio condition 4)	0,001	1	86	0,973	< 0,001
TMT (ratio)	3,527	1	93	0,640	0,037
TMT (condition B)	8,537	1	93	0,004**	0,084
Fluidité alternée	9,322	1	97	0,003**	0,088
<b>Mise à jour</b>					
Empan de chiffres indirect	7,614	1	109	0,007**	0,065
Contrôle mental	18,396	1	114	< 0,001**	0,139
<b>Inhibition</b>					
ICM (ratio condition 3)	0,307	1	88	0,581	0,003
Hayling (score d'erreurs)	4,222	1	92	0,043*	0,044
Hayling (ratio temps)	8,516	1	93	0,004**	0,084
BREF (conditions 5 et 6)	1,896	1	95	0,172	0,020

*Notes.* \**p* < 0,05, \*\**p* < 0,01. *Notes.* ICM = Interférence couleur-mot, TMT = Trail Making Test, BREF = Batterie rapide d'efficacité frontale

Pour tous les scores dont une différence significative entre les groupes a été obtenue et qui ont pu être normés, le pourcentage de résultats déficitaires était plus élevé pour le groupe TCC que pour le groupe avec blessures traumatiques (58,00% contre 17,50% pour TMT B ; 5,36% contre 0% pour Fluidité alternée ; 19,40% contre 6,82% pour Empan de chiffres indirect ; 20,90% contre 2,04 % pour Contrôle mental ; 17,65% contre 4,65% pour le score d'erreurs au Hayling). À notre connaissance, il n'existe pas de normes pour les ratios des temps au Hayling ; nous n'avons donc pas pu établir un pourcentage de scores déficitaires pour cette variable. Le score d'erreurs au Hayling était jugé comme déficitaire lorsque le score pondéré était de 1, tel qu'indiqué dans le protocole (Burgess et Shallice, 1997). Les autres scores étaient considérés comme déficitaires lorsqu'ils étaient à 1,5 écart-type ou plus sous la moyenne. En calculant les moyennes des scores standardisés pour chaque mesure significative à l'ANOVA, seule la moyenne des scores au TMT B est déficitaire pour le groupe TCC ( $M = -1,73$  ;  $ET = 0,19$ ). Notons que, pour le temps au TMT B, le score  $Z$  a été inversé afin qu'un score  $Z$  négatif reflète une faible performance. Aucune autre tâche discriminante n'a des résultats moyens déficitaires, ni pour le groupe TCC (Fluidité alternée,  $M = 0,36$ ,  $ET = 1,15$  ; Empan indirect,  $M = -0,73$ ,  $ET = 0,90$  ; Contrôle mental,  $M = -0,54$ ,  $ET = 1,24$ ), ni pour le groupe orthopédique (Fluidité alternée,  $M = 1,01$ ,  $ET = 0,97$  ; Empan indirect,  $M = -0,23$ ,  $ET = 0,94$  ; Contrôle mental,  $M = 0,37$ ,  $ET = 1,00$ ). La moyenne des scores d'erreurs convertis au Hayling (qui ne peut être transformée en score  $Z$ ) est jugée comme étant dans la « moyenne modérée » pour les deux groupes (TCC,  $M = 4,63$ ,  $ET = 0,34$  ; blessures orthopédiques,  $M = 5,30$ ,  $ET = 0,34$ ), tel que suggéré par le protocole. Mentionnons que, comme il y a moins de variabilité dans les scores standardisés au Hayling que dans les scores d'erreurs convertis, les différences sont plus subtiles. Il n'est ainsi pas incohérent que les deux groupes aient la même interprétation qualitative des scores standardisés, pour des moyennes de scores convertis significativement différentes.

Pour les tests pour lesquels une différence significative a été relevée à l'ANOVA, des analyses ROC ont été effectuées. Lorsque possible, les scores  $Z$  ont été utilisés pour les analyses afin d'établir des valeurs seuils en considérant l'âge des participants. Dans le cas du Hayling, comme il n'existe pas de normes permettant de contrôler pour l'âge, le score d'erreurs converti ainsi que le ratio du temps, soit les mesures utilisées pour les autres analyses, ont été considérés. Les résultats sont rapportés dans le Tableau 5. Les analyses ROC suggèrent que les tests TMT B, Fluidité alternée, Empan de chiffres indirect, Contrôle mental et Hayling (temps) permettent

significativement de prédire l'appartenance au groupe (TCC ou blessures traumatiques). Des valeurs seuils ont été émises, pour lesquelles la sensibilité et la spécificité sont détaillées dans le Tableau 5. Ainsi, un score Z au temps du TMT B égal ou inférieur à -1,15, un score Z du nombre d'alternances à Fluidité alternée égal ou inférieur à -0,83, un score Z à l'empan de chiffres indirect égal ou inférieur -2,17, un score Z au Contrôle mental égal ou inférieur à -1,5 et un ratio du temps au Hayling égal ou supérieur à 1,18 permettent de suspecter un TCC. Selon les aires sous la courbe (ASC), les scores à Fluidité alternée, à Empan de chiffres indirect et le temps au Hayling seraient peu informatifs au plan diagnostique ( $0,5 \leq ASC < 0,7$ ), et les scores au TMT B et au Contrôle mental seraient moyennement informatifs ( $0,7 \leq ASC < 0,9$ ) (Delacour et al., 2005). Précisons qu'un modèle est généralement considéré comme satisfaisant lorsque l'ASC est supérieure ou égale à 0,7 (Delacour et al., 2005). Mentionnons que, comme les résultats vont dans le sens inverse des autres tests pour TMT B et le temps au Hayling (c.-à-d. que des résultats élevés sont associés à une performance moindre), les aires sous la courbe ont été inversées.

Tableau 5

*Analyses Receiver Operating Characteristic (ROC) pour les performances exécutives*

	ASC	ET	p	IC 95%	Valeur		
					seuil	Sensibilité	Spécificité
TMT B (score Z)	0,712	0,056	0,001	0,60-0,82	-1,15	0,98	0,98
Fluidité alternée (score Z)	0,663	0,054	0,005	0,56-0,77	-0,83	0,98	0,86
Empan de chiffres indirect (score Z)	0,661	0,053	0,004	0,56-0,77	-2,17	0,98	0,94
Contrôle mental (score Z)	0,721	0,047	<0,001	0,63-0,81	-1,5	0,98	0,79
Hayling (score d'erreurs)	-	-	0,114	-	-	-	-
Hayling (ratio temps)	0,678	0,055	0,003	0,57-0,79	1,18	0,98	0,96

*Notes.* ASC = Aire sous la courbe ; IC = intervalle de confiance ; TMT = Trail Making Test

### 3. Prédiction du devenir fonctionnel à l'aide des tâches neuropsychologiques

Des régressions linéaires simples ont été conduites afin d'explorer si les scores aux tests neuropsychologiques permettent de prédire la durée du séjour ainsi que le score à l'échelle GOSE pour le groupe TCC. Les résultats pour les prédictions de la durée du séjour sont présentés dans le Tableau 6. Les durées de séjour varient entre 2 et 55 jours ( $M = 14,09$ ,  $ET = 12,06$ ). Brièvement, les analyses suggèrent que les scores au TMT B ( $p < 0,01$ ) et à la Fluidité alternée ( $p < 0,01$ ) sont significativement associés au nombre de jours d'hospitalisation et expliquent respectivement 14,7% et 17,6% de la variance de la durée du séjour. L'association entre le score au test et la durée du séjour est positive pour le TMT B ( $r = 0,383$ ) et négative pour Fluidité alternée ( $r = -0,420$ ), signifiant qu'une lenteur au TMT B et qu'un nombre restreint d'alternances en Fluidité alternée sont associés à un séjour plus long. Les autres tests effectués ne sont pas des prédicteurs significatifs pour cette mesure du devenir fonctionnel.

Tableau 6

*Modèle de régression linéaire sur les performances exécutives et la durée du séjour*

	B	Erreur standard	Bêta	<i>t</i>	<i>p</i>	R <sup>2</sup>
ICM (ratio condition 4)	0,18	0,16	0,16	1,11	0,274	0,027
TMT (ratio)	1,75	1,61	0,15	1,09	0,282	0,023
TMT (condition B)	0,07	0,02	0,38	2,94	0,005**	0,147
Fluidité alternée	-1,57	0,47	-0,42	-3,34	0,002**	0,176
Empan de chiffres indirect	-1,26	0,67	-0,23	-1,87	0,066	0,053
Contrôle mental	-0,50	0,25	-0,24	-1,98	0,052	0,059
ICM (ratio condition 3)	0,01	0,13	0,01	0,07	0,942	< 0,001
Hayling (score d'erreurs)	0,23	0,11	0,28	1,99	0,053	0,078
Hayling (temps)	-0,11	0,38	-0,04	-0,29	0,772	0,002
BREF (conditions 5 et 6)	-3,03	1,74	-0,24	-1,74	0,088	0,056

*Note.* ICM = Interférence couleur-mot; TMT = Trail Making Test; BREF = Batterie rapide d'efficacité frontale. \*\* $p < 0,01$

Les résultats pour la prédiction du score au GOSE sont exposés dans le Tableau 7. Les scores obtenus à cette échelle varient entre 4 et 6 ( $M = 5,04$ ,  $ET = 0,56$ ). Parmi les données récoltées, 13,2% des participants ont obtenu un score de 4, 69,1% ont obtenu un score de 5 et 17,6% ont obtenu un score de 6.

Les données vont dans le même sens que précédemment, suggérant que le score du TMT B ( $p < 0,05$ ) et de Fluidité alternée ( $p < 0,05$ ) sont significativement associés au score de la GOSE. Les résultats expliquent respectivement 8,6% et 8,1% de la variance de cette mesure du devenir fonctionnel. L'association avec cette mesure est négative pour TMT B ( $r = -0,293$ ) et positive pour Fluidité alternée ( $r = 0,284$ ). Ainsi, un temps plus long au TMT ainsi qu'un résultat moindre au test de Fluidité alternée permettent de prédire un score moins élevé à la GOSE (moins bon devenir fonctionnel). Toutefois, le ratio associé au temps du Hayling est également un prédicteur significatif ( $p < 0,05$ ), mais la relation avec le GOSE est positive ( $r = 0,303$ ). Ceci indique qu'un ratio plus grand du temps au Hayling (et par conséquent un temps de réponse plus élevé) est associé avec un résultat plus élevé au GOSE (un meilleur devenir fonctionnel), ce qui va dans le sens inverse de nos hypothèses. La variance du GOSE expliquée par le ratio du Hayling serait de 9,2%.

Tableau 7

*Modèle de régression linéaire sur les performances exécutives et le score à l'échelle Glasgow Outcome Scale Extended (GOSE)*

	B	Erreur standard	Bêta	$t$	$p$	$R^2$
ICM (ratio condition 4)	0,00	0,01	-0,07	-0,44	0,661	0,004
TMT (ratio)	-0,10	0,08	-0,18	-1,27	0,210	0,031
TMT (condition B)	0,00	0,00	-0,29	-2,17	0,035*	0,086
Fluidité alternée	0,05	0,02	0,28	2,14	0,037*	0,081
Empan de chiffres indirect	0,04	0,03	0,17	1,35	0,182	0,020
Contrôle mental	0,01	0,01	0,10	0,78	0,438	0,010
ICM (ratio condition 3)	0,00	0,01	-0,04	-0,29	0,776	0,002
Hayling (score d'erreurs)	-0,01	0,01	-0,24	-1,70	0,095	0,058

Hayling (ratio temps)	0,04	0,02	0,30	2,18	0,034*	0,092
BREF (conditions 5 et 6)	0,12	0,08	0,20	1,47	0,149	0,040

*Note.* ICM = Interférence couleur-mot; TMT = Trail Making Test; BREF = Batterie rapide d'efficience frontale. \* $p < 0,05$

Une régression logistique binaire a également été effectuée afin d'explorer si les tests permettent de prédire la destination au congé des patients (la maison ou la réadaptation à l'interne). Les résultats sont rapportés dans le Tableau 8. Parmi les données récoltées dans le groupe TCC, 63,2% des participants sont retournés à la maison (avec ou sans réadaptation externe), et 36,8% d'entre eux sont allés en établissement de réadaptation à l'interne.

Le temps requis pour compléter la tâche TMT B prédit de façon significative la destination au congé,  $b = 0,01$ , Wald  $X^2(1) = 5,108$ ,  $p = 0,024$  (constante = -2,177, ES = 0,660). Les rapports de chance (OR) suggèrent que lorsque le temps augmente d'une seconde, la probabilité d'aller en réadaptation à l'interne augmente de 1% (1,01). Le nombre d'alternances à Fluidité alternée prédit aussi de manière significative la destination au congé,  $b = -0,22$ , Wald  $X^2(1) = 5,116$ ,  $p = 0,024$  (constante = 2,059, ES = 1,227). La valeur OR indique que lorsque le nombre d'alternances augmente d'un point, la probabilité d'aller en réadaptation à l'interne diminue de 20% (0,80). Le score brut à l'Empan indirect prédit significativement la destination au congé,  $b = -0,49$ , Wald  $X^2(1) = 9,742$ ,  $p = 0,002$  (constante = 2,962, ES = 1,117). Quand le score augmente d'un point, la probabilité d'être dirigé en réadaptation à l'interne diminue de 39% (0,61). Pour le score brut au test Contrôle mental, la prédiction est également significative,  $b = -0,13$ , Wald  $X^2(1) = 5,30$ ,  $p = 0,021$  (constante = 2,138, ES = 1,215). Quand le score augmente d'un point, la probabilité d'aller en réadaptation à l'interne diminue de 12% (0,88). Le score d'erreurs au test Hayling est également un prédicteur significatif,  $b = 0,05$ , Wald  $X^2(1) = 5,194$ ,  $p = 0,023$  (constante = -1,496, ES = 0,476). Un score plus élevé d'un point augmente la probabilité d'être dirigé vers la réadaptation à l'interne de 5% (1,05). Enfin, la somme des deux dernières conditions de la BREF permet de prédire la destination au congé,  $b = -1,23$ , Wald  $X^2(1) = 9,471$ ,  $p = 0,002$  (constante = 5,776, ES = 2,164). Une augmentation du score d'un point permet de diminuer la probabilité d'aller en réadaptation à l'interne de 71%. Notons que ceci est cohérent étant donné que les scores possibles sont peu nombreux et que le test comporte un effet plafond important; il y a ainsi peu de scores faibles. En

effet, la majorité des participants ont obtenu le score maximal de 6 (52,5%). Très peu de patients (9,1%) ont obtenu un score inférieur à 5; on peut donc comprendre qu'un score diminué de 1 point transpose le patient parmi les performances les plus faibles, et peut ainsi être évocateur d'une atteinte exécutive et donc fonctionnelle plus importante.

Les tests ne s'avérant pas comme des prédicteurs significatifs de la destination au congé sont les conditions 3 ( $b= 0,005$ , Wald  $X^2(1)= 0,046$ ,  $p=0,830$ , constante = -1,210, ES = 1,406) et 4 ( $b= 0,005$ , Wald  $X^2(1)= 0,022$ ,  $p=0,883$ , constante = -1,171, ES = 1,461) du test d'Interférence couleur-mot, le ratio du TMT ( $b= -0,46$ , Wald  $X^2(1)= 0,022$ ,  $p=0,883$ , constante = -0,774, ES = 0,926) ainsi que le ratio des temps du Hayling ( $b= 0,102$ , Wald  $X^2(1)= 2,649$ ,  $p=0,104$ , constante = -1,451, ES = 0,553).

Tableau 8

*Modèle de régression logistique binaire sur les performances exécutives et la probabilité d'être dirigé en établissement de réadaptation à l'interne*

	B	Erreur standard	OR	IC 95% Inf.	IC 95% Sup.
ICM (ratio condition 4)	0,01	0,033	1,01	0,941	1,073
TMT (ratio)	- 0,46	0,310	0,96	0,520	1,756
TMT (condition B)	0,01*	0,005	1,01	1,001	1,020
Fluidité alternée	-0,22*	0,097	0,80	0,664	0,971
Empan de chiffres indirect	-0,49**	0,157	0,61	0,449	0,833
Contrôle mental	-0,13*	0,056	0,88	0,788	0,981
ICM (ratio condition 3)	0,01	0,025	1,01	0,957	1,056
Hayling (score d'erreurs)	0,05*	0,021	1,05	1,007	1,094
Hayling (ratio temps)	0,102	0,063	1,11	0,979	1,253
BREF (conditions 5 et 6)	-1,23**	0,399	0,29	0,134	0,640

*Notes.* OR = *Odds Ratio*; ICM = Interférence couleur-mot; TMT = Trail Making Test; BREF = Batterie rapide d'efficacité frontale. \*régressions ayant un  $p < 0,05$ , \*\* régressions ayant un  $p < 0,01$

## **Discussion**

Rappelons que l'objectif principal de l'étude était d'évaluer les FE des patients atteints d'un TCC en phase aiguë de récupération à l'aide de différents tests et de déterminer si les outils sélectionnés sont pertinents dans l'évaluation du TCC en contexte hospitalier, notamment par leur capacité à discriminer les patients TCC d'un groupe de patients également hospitalisés, mais présentant des blessures traumatiques sans TCC. Le second objectif, de nature exploratoire, était de prédire le devenir fonctionnel à court terme des patients du groupe TCC à l'aide des performances obtenues aux tâches mesurant les FE. Le tableau 9 (voir Annexe 1) permet de résumer les principaux résultats obtenus en fonction de nos hypothèses.

### **1. Différences intergroupes quant aux performances aux tâches exécutives**

Le premier objectif spécifique de cet essai doctoral était de comparer les résultats aux tâches exécutives d'un groupe de patients atteints d'un TCC en phase aiguë de récupération à ceux d'un groupe contrôle de patients ayant subi des blessures traumatiques sans TCC. Notre hypothèse est partiellement confirmée puisque les résultats sont significativement plus faibles au sein du groupe TCC pour la majorité des tests neuropsychologiques. Ceci suggère que, au-delà des altérations des performances possibles dues au contexte d'hospitalisation et au fait d'avoir eu un accident, les patients avec un TCC présentent des atteintes exécutives. Pour chaque composante du modèle exécutif de Miyake, au moins une tâche diffère significativement entre les groupes, avec des performances plus faibles pour les patients TCC.

#### **1.1 La flexibilité mentale**

Les différences intergroupes recensées permettent d'abord de mettre en exergue une atteinte de la flexibilité mentale chez les patients TCC en phase aiguë. En effet, les participants TCC effectuent moins d'alternances que les participants du groupe avec blessures traumatiques dans la tâche de Fluidité alternée, et la proportion de résultats déficitaires est plus élevée dans le groupe TCC. La tâche TMT B requiert significativement plus de temps pour ces patients. La proportion de résultats déficitaires à cette tâche est particulièrement élevée pour le groupe TCC, où la majorité

des patients obtiennent un score de plus de 1,5 écart-type sous la moyenne. Il n'y a toutefois pas de différences intergroupes quant aux résultats au ratio du TMT (B/A). Ceci indique que la condition d'alternance n'est pas significativement plus longue par rapport à la condition sans alternance pour le groupe TCC, ce qui suggère que nous n'avons pas mesuré d'atteintes sur le plan de la flexibilité. La diminution de la performance au TMT B chez les TCC serait ainsi plutôt tributaire au ralentissement cognitif causé par la lésion cérébrale.

En effet, la vitesse de traitement de l'information est fréquemment altérée à la suite d'un TCC et ce, pour toutes sévérités confondues (Clark et al., 2020; Johansson et al., 2009; Owens et al., 2018). Ceci est principalement imputable au phénomène d'accélération-décélération que le cerveau subit lors du TCC, ce qui engendre des tensions sur les axones et mène à des lésions axonales diffuses, perturbant l'intégrité de la matière blanche (Smith et al., 2003). Ultimement, ce type de lésion interfère avec la transmission de l'influx nerveux et diminue ainsi la vitesse de transmission de l'information (Felmingham et al., 2004; Kennedy et al., 2009; McAllister, 2011). Nous estimons que les déficits identifiés chez les individus TCC au TMT B résultent de telles perturbations de la matière blanche. De surcroît, d'autres études n'ont également pas identifié de différence entre les individus TCC et les individus sans TCC sur le plan du ratio du TMT (Dymowski et al., 2015; Felmingham et al., 2004; Fonseca et al., 2012). Ceci demeure toutefois controversé dans la littérature, certaines études obtenant des différences de ratio (Periáñez et al., 2007; Ríos et al., 2004). Quoi qu'il en soit, ces résultats rappellent qu'il importe de se questionner avant d'utiliser systématiquement le temps au TMT B comme indicateur de la flexibilité cognitive. De plus, le nombre d'alternances à Fluidité alternée et le temps requis au TMT B sont des indicateurs valides permettant d'identifier la présence d'un TCC en contexte hospitalier.

La quatrième condition du test d'Interférence couleur-mot était également utilisée pour mesurer la flexibilité cognitive. Toutefois, les deux groupes ne diffèrent pas quant aux performances à cette tâche. En regardant de plus près les résultats relatifs au test d'Interférence couleur-mot, notamment les scores de contraste, on constate que les deux groupes sont dans la moyenne. Il est ainsi probable que ce test manque de sensibilité pour capter des atteintes exécutives comme conséquence d'un TCC et/ou d'un contexte hospitalier. La méta-analyse de Dimoska-Di Marco et al. (2011) mentionne d'ailleurs que peu de mesures de type Stroop diffèrent entre les participants TCC et les participants contrôles, du moins lors de faibles niveaux de sévérité du TCC. Il importe toutefois de demeurer prudent; l'étude de Keifer et Tranel (2013) mentionne que la tâche

d'Interférence couleur-mot de la D-KEFS ne parvient pas à distinguer les patients TCC ayant une lésion préfrontale ventromédiane des patients sans lésion frontale, mais qu'elle parvenait à distinguer les patients sans lésion frontale des patients ayant une lésion préfrontale dorsolatérale. Notre étude n'a pas contrôlé pour le type de lésion. Il n'est ainsi pas impossible que, si un tel contrôle avait été fait, il aurait été possible de discriminer le groupe avec blessures traumatiques de certains types de patients ayant des lésions spécifiques.

De façon générale, les résultats suggérant une atteinte de la flexibilité mentale à la suite d'un TCC concordent avec celle de Levin et al. (1993), Caeyenberghs et al. (2014) ainsi que Ghawami (2017). En raison de cette altération cognitive, les patients ayant subi un TCC s'adaptent possiblement moins aisément à de nouvelles situations. Une pauvre flexibilité cognitive risque ainsi de nuire à la réadaptation, qui consiste justement à apprendre de nouvelles stratégies ou de nouveaux comportements. Les patients TCC risquent de devoir faire face à différents changements dans leur style de vie. Or, une altération de la flexibilité cognitive à la suite d'un TCC risque d'entraîner l'utilisation de stratégies d'adaptation inefficaces (Krupan et al., 2007). Au quotidien, les gens avec une atteinte de la flexibilité mentale peuvent peiner à effectuer une tâche en dépit de l'interférence proactive d'une autre tâche déjà entamée (Miyake, 2000). Ceci peut entre autres limiter la capacité des individus ayant subi un TCC d'effectuer plusieurs tâches à la fois. Des études suggèrent également une association entre l'altération de la flexibilité cognitive et des difficultés à être empathique et à exprimer ses émotions (Grattan et Eslinger, 1989; Shamary-Tsoory et al., 2003) ce qui risque d'impacter négativement les relations sociales des patients TCC. En bref, l'atteinte de la flexibilité cognitive à la suite d'un TCC, telle que relevée dans la présente étude, risque d'entraîner des difficultés chez les patients à s'adapter à leur nouvelle réalité, en plus d'entraîner des difficultés sociales.

## **1.2 La mise à jour**

Les résultats suggèrent également une altération de la mise à jour. Dans le cadre de cet essai, la mise à jour a notamment été évaluée par une tâche de mémoire de travail, l'Empan indirect, puis par le Contrôle mental. Les patients TCC performant moins bien à ces deux tâches. Le pourcentage de scores déficitaires est plus élevé pour ces deux tests dans le groupe avec TCC, bien que seulement une minorité de ces patients obtiennent des scores déficitaires. Les deux tâches utilisées sont des indicateurs valides qui permettent de déterminer, en contexte hospitalier, si un patient semble présenter un TCC ou non. Notons que la valeur seuil de l'Empan indirect (score Z

de -2,17) est en deçà de ce qui est considéré comme un score déficitaire (score Z de -1,5). Ceci s'explique possiblement par le fait que plusieurs participants du groupe avec blessures traumatiques présentaient également de faibles performances; seule une atteinte particulièrement sévère de la performance à cette tâche permettrait ainsi de discriminer entre les deux groupes.

L'atteinte de la mémoire de travail identifiée dans la présente étude concorde avec les résultats obtenus à plus long terme par Perlstein et al. (2004), Kasahara et al. (2011) ainsi que McDowell et al. (1997). Une telle altération de la mémoire de travail peut avoir des répercussions non négligeables sur la capacité des patients à fonctionner au quotidien. Entre autres, la mémoire de travail est fortement corrélée au raisonnement (Kyllonen et Christal, 1990). Elle contribue ainsi à la résolution de problème, notamment en permettant de considérer plusieurs éléments de la situation ainsi que les différentes solutions possibles dans l'optique de faire des choix éclairés. Une atteinte de la mémoire de travail, ou de sa mise à jour, pourrait ainsi réduire la possibilité de considérer tous ces éléments et diminuer la capacité à réagir convenablement face à de nouvelles situations (Woods et Rutterford, 2006). Enfin, il y aurait une association entre la mémoire de travail et la mémoire prospective, soit l'habileté à se souvenir de futures actions à poser (Einstein et McDaniel, 1990; Braver et West, 2008). Une altération de la mémoire prospective est d'ailleurs souvent rapportée après le TCC (Kinsella et al., 1996).

### **1.3 L'inhibition**

Pour ce qui est de l'inhibition, les résultats du Hayling (à la fois pour le score d'erreurs et pour le ratio du temps) suggèrent que cette habileté cognitive est plus faible chez le groupe de patients ayant subi un TCC. Le pourcentage de résultats déficitaires est également plus élevé dans ce groupe. Ceci correspond aux résultats obtenus par Draper et Ponsford (2008) de même que Dymowski et al. (2015). La troisième condition du test d'Interférence couleur-mot n'indique pas de différence intergroupe significative, probablement en raison d'une faible sensibilité, tel qu'expliqué précédemment. L'équipe de Dymowski (2015) évoque d'ailleurs que le Hayling serait une tâche plus sensible à l'atteinte de l'inhibition consécutive au TCC qu'un test d'interférence couleur-mot. Ils suggèrent que cette différence est due au fait que, alors que les deux tests nécessitent d'inhiber une réponse automatique, le Hayling requiert également de générer des idées. Cette exigence supplémentaire rendrait possiblement plus difficile l'inhibition de la réponse automatique. De plus, ces mêmes auteurs ont examiné les types d'erreurs effectués par les participants et ont réalisé que les participants du groupe contrôle tendent davantage à utiliser des

stratégies pour éviter de fournir une réponse automatique, comme de nommer les objets dans la pièce. L'utilisation de stratégies efficaces pourrait ainsi distinguer les deux groupes (Dymowski et al., 2015). Bien que la présente étude n'ait pas analysé les erreurs de manière aussi détaillée, il est possible qu'une meilleure utilisation de stratégies chez le groupe contrôle ait pu contribuer à différencier les performances. Mentionnons que, comme le Hayling serait ainsi une tâche exigeant des processus plus complexes, celle-ci refléterait possiblement mieux le fonctionnement quotidien des patients TCC. En effet, les activités de tous les jours requièrent non seulement d'inhiber des réponses automatiques, mais aussi de générer des idées et des stratégies efficaces pour s'adapter aux situations nouvelles. Notre étude suggère d'ailleurs que le ratio du temps au Hayling est un indicateur valide permettant d'identifier la présence d'un TCC en phase aiguë. Mentionnons que la valeur seuil identifiée pour ce ratio doit être considérée avec précaution puisqu'elle ne contrôle pas pour l'âge. De plus, dans la présente étude, la BREF ne permettait pas non plus de distinguer les deux groupes. L'étendue des résultats à la BREF est toutefois limitée, et la grande majorité des patients ont obtenu le score maximal (6) ou un score en dessous (5). Cet effet plafond risque de diminuer la sensibilité du test et de restreindre la possibilité d'observer une différence intergroupe. C'est d'ailleurs ce qu'avance l'équipe de Rojas et collaborateurs (2018), qui mentionne que les conditions *Consignes conflictuelles* et *Go/No-Go* semblent peu sensibles pour détecter les altérations cognitives au sein de la population TCC en phase aiguë, la majorité des individus obtenant un score maximal. Mentionnons toutefois que l'équipe de Cardoso (2019) a permis de relever une différence entre un groupe TCC et un groupe contrôle en phase aiguë à la BREF, mais seul le score total de ce test était considéré. Or, outre l'inhibition comportementale, le score total tient compte des habiletés de conceptualisation, de flexibilité mentale et de programmation motrice. Aussi, rappelons que les auteurs n'ont pas utilisé un groupe contrôle de patients avec blessures traumatiques. Comme les différences cognitives des deux groupes étaient probablement moins subtiles, la sensibilité du test était possiblement suffisante pour relever des différences, ce qui n'est pas le cas lorsqu'un groupe contrôle avec blessures traumatiques est utilisé. Rojas (2019) appuie d'ailleurs l'hypothèse que la BREF peine à discriminer des groupes lorsque les différences sont subtiles. Notons également que la BREF a été initialement utilisée et validée auprès de patients ayant des troubles neurodégénératifs, comme le trouble neurocognitif dû au Parkinson, la dégénérescence fronto-temporale, la paralysie supra nucléaire progressive, la dégénérescence cortico-basale ou l'atrophie cérébrale (Dubois et al., 2000). Les atteintes exécutives résultant de

ces troubles neurocognitifs risquent d'être plus manifestes que ceux dus au TCC, d'autant plus que notre échantillon contient une proportion importante de TCC légers.

Les résultats de la présente étude, notamment ceux obtenus avec le test de Hayling, concordent avec une lignée d'études ayant mis en lumière une altération de l'inhibition séquellaire au TCC (de Bonatti et al., 2008; Dimoska-Di Marco et al., 2011; Fonseca et al., 2012; Perianez et al., 2007). Une telle altération pourrait compromettre la capacité des patients à réaliser des buts précis, puisque l'inhibition permet de limiter les pensées ou les actions qui sont incohérentes avec ces buts (Lustig et al., 2007). La réalisation des tâches de la vie quotidienne peut ainsi être plus ardue pour les individus ayant subi un TCC. Des études proposent d'ailleurs une relation entre l'inhibition cognitive et l'impulsivité. RoCHAT et al. (2013) ont obtenu une relation négative entre l'inhibition de la réponse prépondérante et la dimension « urgence » de l'impulsivité chez les patients TCC. Cette dimension réfère à la tendance à connaître des réactions fortes, principalement dans un contexte négatif (RoCHAT et al., 2013). Logan et al. (1997), Tijou et Le Gall (2015) ainsi que Wilbertz et al. (2014) ont obtenu des résultats similaires. RoCHAT (2013) mentionne que « l'urgence » est reliée à de nombreux comportements problématiques, comme l'agressivité, les troubles de l'alimentation, la consommation de substance, l'inadéquation sociale ou l'achat impulsif (RoCHAT et al., 2013). Il est donc envisageable que l'altération de l'inhibition cognitive des patients TCC, telle que mesurée dans la présente étude, puisse influencer l'apparition de tels comportements.

#### **1.4 Conclusions liées à l'objectif 1 de l'étude**

De façon générale, les résultats de la présente étude concordent avec les études mentionnées jusqu'à maintenant (Brooks et al., 1999; de Freitas Cardoso et al., 2019; Ghawami et al., 2017), qui évoquent des performances exécutives significativement plus faibles chez les individus TCC que chez les contrôles. Les atteintes exécutives séquellaires au TCC sont potentiellement attribuables aux collisions entre le cerveau et la boîte crânienne, qui risquent d'entraîner des lésions frontales et temporales. Ces régions sont particulièrement fragiles au TCC et sous-tendent en partie le fonctionnement exécutif (Stuss et al., 2000; Stuss, 2011). De même, il est possible que des atteintes des régions pariétales puissent en partie expliquer une partie des atteintes observées, notamment en mémoire de travail (Degré et al., 2019). Les atteintes exécutives risquent de nuire à l'autonomie des patients (Clark et al., 2020; Struchen et al., 2008), ceux-ci étant moins aptes à répondre aux changements de leur environnement de façon adaptée.

Mentionnons que les résultats ne permettent pas de statuer qu'un TCC entraîne automatiquement un déficit des FE; pour la plupart des tâches révélant des résultats plus faibles chez les TCC, la majorité des patients n'ont pas un score déficitaire. Ainsi, bien qu'un déficit sur le plan de la vitesse de traitement de l'information soit suggéré par le TMT B, les résultats obtenus par les autres mesures semblent converger vers une « atteinte » ou une « faiblesse » exécutive qui n'est pas de l'ordre du déficit, de moins pour les mesures pour lesquelles nous avons des normes. L'étude d'Azouvi et collaborateurs (2015) a pourtant obtenu une majorité de scores déficitaires à des tâches exécutives chez des individus en moyenne 129 jours post-TCC (55,4% des scores sous le 5<sup>e</sup> percentile). Toutefois, cette étude ne comprenait que des TCC sévères, et notre étude comprenait majoritairement des TCC légers complexes et modérés. Il est ainsi possible que, pour des niveaux de sévérité moindres, les déficits exécutifs ne soient pas présents dans la majorité des cas. Certaines méta-analyses suggèrent d'ailleurs que les atteintes exécutives relevées à la suite d'un TCC léger correspondent seulement à de petites tailles d'effet (Belanger et al., 2005; Rohling et al., 2011). Une autre possibilité est que les tests sélectionnés ne soient pas suffisamment sensibles pour relever des déficits à la suite d'un TCC. Quoi qu'il en soit, bien que les patients aient obtenu des scores plus faibles que le groupe contrôle pour la majorité des mesures effectuées, ceci ne signifie pas que des déficits soient présents. Ces résultats sont une mise en garde pour la communauté scientifique; interpréter des différences intergroupes comme des déficits semble être de l'ordre du sophisme et risque de mener à des interprétations erronées.

## **2. Prédiction du devenir fonctionnel à court terme**

Le deuxième objectif était exploratoire et visait à déterminer quels tests neuropsychologiques, parmi ceux étudiés, permettent de prédire le devenir fonctionnel à court terme des patients TCC. Notre hypothèse est partiellement confirmée ; la majorité des mesures sélectionnées sont associées avec une meilleure autonomie fonctionnelle au congé des soins aigus des patients TCC. En effet, mis-à-part le test d'Interférence couleur-mot, toutes les tâches présentent une association avec au moins une mesure du devenir fonctionnel. Ainsi, nos résultats suggèrent que plus un patient souffre de difficultés en mémoire de travail, en flexibilité cognitive et/ou en inhibition, moins il risque d'être fonctionnel au congé de l'hôpital.

## **2.1 La flexibilité mentale**

Les résultats mettent également en association la flexibilité cognitive avec le devenir fonctionnel, tel que suggéré par le nombre d'alternances en fluidité alternée et le ratio du TMT. Comme une meilleure flexibilité favorise les capacités d'adaptation en plus d'aider à la réalisation de tâches diverses (Krupan et al., 2007; Miyake, 2000; Prigatano, 1992), cette FE permet une meilleure autonomie des patients. Les individus avec une meilleure flexibilité sont plus en mesure de s'adapter aux demandes environnementales et ont ainsi moins tendance à nécessiter une réadaptation à l'interne. En outre, la flexibilité cognitive est la seule variable exécutive associée à la durée d'hospitalisation. Un nombre restreint d'alternances à Fluidité alternée témoigne possiblement d'une rigidité cognitive chez les patients, et cette rigidité augmente la probabilité de rester plus longtemps à l'hôpital. Comme la rigidité est associée à des capacités d'adaptation plus faibles, les patients risquent de prendre plus de temps à s'adapter à leur condition et à développer des stratégies leur permettant d'être suffisamment autonomes pour obtenir leur congé à la maison. D'un autre côté, pour les patients ayant besoin d'être transférés en réadaptation à l'interne, il est possible que ces difficultés d'adaptation les rendent réfractaires aux interventions, et repoussent ainsi le moment où ils sont prêts à bénéficier d'une réadaptation. D'ailleurs, la tâche de Fluidité alternée s'avère particulièrement pertinente; il s'agit du seul score neuropsychologique qui est lié aux trois mesures du devenir fonctionnel. Ceci s'avère intéressant compte tenu du fait que, selon Vilkki et al., (1994), les tests de flexibilité mentale sont parmi les meilleurs prédicteurs de la récupération psychosociale un an après TCC. Mentionnons toutefois que le nombre d'alternances ne dépend pas exclusivement de la flexibilité; il est possiblement influencé par la vitesse de traitement et l'habileté de fluence verbale, tous deux étant liés au devenir fonctionnel (Gauthier et al., 2018; Girard et al., 1996; Machamer et al., 2005; Rassosvsky et al., 2006; Sherer et al., 2002). En somme, notre étude supporte l'idée que les patients avec une meilleure flexibilité sont généralement plus autonomes au quotidien. Ils sont ainsi plus enclins à retourner travailler et à participer dans les activités sociales (Nybo et al., 2004; Vilkki et al., 1994).

## **2.2 La mise à jour**

Concernant la mise à jour, les scores bruts de l'Empan indirect et du Contrôle mental sont tous les deux associés au devenir fonctionnel, tel que mesuré par la destination au congé. Les patients qui ont des difficultés à mettre à jour le contenu de la mémoire de travail risquent d'éprouver de la difficulté à effectuer des tâches complexes, notamment parce cette fonction permet

de maintenir un but en tête ainsi que ses différentes étapes, en plus de gérer l'information entrante et de bloquer ou d'éliminer l'information non pertinente à la tâche en cours (Engle et Kane, 2004; Unsworth et al., 2005). Une telle atteinte risque par exemple de restreindre la capacité de cuisiner, d'effectuer des tâches ménagères et de faire face aux imprévus, ce qui peut compromettre la sécurité des patients s'ils retournent à la maison sans supervision. Ils risquent ainsi davantage d'être transférés en réadaptation à l'interne.

### **2.3 L'inhibition**

Le devenir fonctionnel semble également prédit par la capacité d'inhibition cognitive, plus spécifiquement par les résultats au Hayling (ratio du temps et score d'erreurs) ainsi que par la somme des deux dernières conditions de la BREF. Cette association peut s'expliquer par le fait que les patients désinhibés sont généralement plus impulsifs (Rochat et al., 2013), et que cette impulsivité risque de compromettre leur sécurité. Ils sont également plus facilement distraits (Lustig et al., 2007). Cette distraction peut limiter la réalisation de tâches quotidiennes et altérer la prise de décision. Les individus avec une moins bonne inhibition risquent donc d'être moins fonctionnels au quotidien. Ils nécessiteraient ainsi plus souvent une réadaptation à l'interne afin d'assurer une supervision constante et de travailler à rétablir au maximum la fonction.

### **2.4 Conclusions liées à l'objectif 2 de l'étude**

En général, les résultats de l'étude 2 confirment notre hypothèse. Il est toutefois important d'apporter quelques autres résultats et nuances à ces conclusions. Notons que le score brut du TMT B, que nous avons précédemment associé à la vitesse de traitement plutôt qu'à la flexibilité mentale, est également lié au devenir fonctionnel. Une lenteur de traitement est ainsi associée à un fonctionnement global réduit, tel que mesuré par la GOSE. Rassovsky et al. (2007) indiquent d'ailleurs qu'une réduction de la vitesse de traitement risque d'engendrer des difficultés cognitives dans divers domaines, comme la résolution rapide de problèmes, la compréhension verbale ou le contrôle attentionnel, ceci pouvant altérer le fonctionnement social et occupationnel. Millis et al. (1994) suggèrent également que le temps au TMT B est significativement relié à la réintégration dans la communauté un an après l'accident. Ces résultats appuient plusieurs études proposant une association entre la vitesse de traitement et le devenir fonctionnel (Girard et al., 1996; Machamer et al., 2005; Rassovsky et al., 2006; Sherer et al., 2002).

Deux résultats de la présente étude vont à l'encontre de nos hypothèses de départ. D'abord, contrairement aux autres mesures, les deux ratios du test d'Interférence couleur-mot ne sont pas associés au devenir fonctionnel. Comme mentionné précédemment, cette tâche semble peu sensible aux atteintes exécutives conséquentes au TCC. Il est ainsi concevable que les résultats à cette épreuve ne diffèrent pas entre les individus autonomes et les individus ayant des atteintes fonctionnelles, ce qui empêche la possibilité d'établir une association. Les résultats de notre étude suggèrent donc que la tâche d'Interférence couleur-mot ne semble pas être un outil pertinent pour estimer le devenir à court terme des patients TCC hospitalisés. Ensuite, le fait qu'un temps plus long à la deuxième condition du Hayling comparativement à la première condition (donc un ratio du temps plus élevé) soit associé à un meilleur résultat à la GOSE peut sembler contradictoire. Toutefois, il est possible que le temps de réponse plus long soit dû au fait que les patients plus fonctionnels soient moins impulsifs; ces derniers réfléchissent donc davantage avant de fournir une réponse. Ceci est corroboré par Ottaviani et al. (2018), qui proposent que l'impulsivité prédit un temps de réponse plus court au Hayling. Comme le nombre d'erreurs dans la présente étude est aussi associé au devenir fonctionnel (étant prédicteur de la destination), il est probable que les gens moins impulsifs prennent plus de temps à répondre et fassent ainsi moins d'erreurs. Le fait que l'impulsivité soit associée à un moins bon devenir fonctionnel, notamment en favorisant la prise de risque (Billieux et al., 2008; Ponsford et al, 2013; Whiting, 2020) et en influençant la prise de décision (Christodoulou et al., 2006), renforce cette hypothèse.

Ainsi, les résultats suggèrent que les outils sélectionnés, à l'exception du score d'Interférence couleur-mot, sont pertinents pour guider les professionnels dans leur décision quant au congé des patients. Les résultats de la présente étude confirment que les FE sont associées aux capacités fonctionnelles, même lorsqu'elles sont investiguées pendant la phase aiguë de récupération. Il est ainsi primordial de statuer précocement sur l'intégrité des FE pour aider la prise de décision quant au congé du patient. Rappelons que l'analyse de l'association entre les tâches neuropsychologiques proposées et le devenir fonctionnel est seulement exploratoire; les conclusions doivent être considérées avec précaution et méritent d'être investiguées davantage dans d'autres études.

### **3. Limites**

Notre étude comporte toutefois certaines limites. La limite la plus importante est sans contredit le nombre important de données manquantes pour les scores neuropsychologiques, qui

varie entre 2 et 30%. Ce nombre élevé de données manquantes limite l'interprétation des résultats; il importe donc de les considérer avec prudence. De nouvelles études explorant les FE en phase aiguë et leur lien avec le devenir fonctionnel à court terme sont nécessaires afin d'être plus confiants quant aux conclusions suggérées par la présente étude. Mentionnons toutefois qu'il est particulièrement ardu, dans un tel protocole clinique, de limiter les données manquantes; des évaluations ont dû être interrompues pour de nombreuses raisons (les participants commençaient à être en douleur, un professionnel venait les chercher pour un traitement ou des examens, des visiteurs arrivaient, etc.), et il était fréquent que les patients quittent l'hôpital avant d'avoir complété l'évaluation.

Mentionnons également que, bien que les résultats révèlent que le score de Fluidité alternée est particulièrement pertinent, nous ne pouvons statuer à quel point les performances sont diminuées chez les TCC en raison d'une altération exécutive (principalement la flexibilité mentale), d'un ralentissement plus généralisé de la vitesse de traitement ou encore de difficultés sur le plan de l'accès ou de l'évocation lexicale. Toutefois, mentionnons que les erreurs d'alternances étaient pénalisées puisqu'elles n'étaient pas comptabilisées dans le nombre total et que le chronomètre n'était pas arrêté.

Sur le plan de la méthodologie, nous n'avons pas séparé les analyses en fonction des types de sévérité du TCC. Ceci aurait pu être pertinent afin de comparer les atteintes exécutives en fonction des différents degrés de sévérité, et de constater si les patients avec un TCC modéré ou sévère présentent davantage de déficits exécutifs en phase aiguë que les légers. Le nombre plus restreint de patients ayant un TCC sévère aurait sans doute augmenté les risques de ne pas avoir d'homogénéité dans les scores obtenus. Il serait également pertinent que cette étude soit répliquée en contrôlant les sites de lésions chez les patients TCC afin d'avoir un aperçu des altérations exécutives en fonction de la localisation des lésions. Des études ultérieures pourraient également ajouter un groupe contrôle sans hospitalisation au protocole, comme ceci a été fait dans l'étude de McCauley et al. (2014). Ceci permettrait d'identifier quelles différences sont principalement attribuables à l'accident et aux facteurs liés à l'hospitalisation. Il serait également pertinent de faire une étude longitudinale afin de suivre l'évolution de la récupération des fonctions exécutives et de déterminer quelles mesures prédisent le devenir fonctionnel à plus long terme, comme quelques mois après l'accident. Aussi, la faible étendue des résultats à la GOSE a possiblement contribué à

limiter les associations entre cette échelle et les mesures neuropsychologiques. Une mesure plus sensible comportant une plus grande diversité de scores possibles, comme la *Disability Rating Scale* (DRS; Rappaport et al., 1982), aurait pu être utilisée afin d'identifier avec plus de précision les scores neuropsychologiques associés au devenir fonctionnel. À ce propos, mentionnons qu'un biais d'échantillonnage a pu contribuer à la faible étendue des scores obtenus à la GOSE. En effet, les patients TCC les plus légers ne sont généralement pas hospitalisés et ne faisaient par conséquent pas partie de notre échantillon. De même, les patients ayant un TCC particulièrement sévère ne sont généralement pas aptes ou disponibles pour participer à une évaluation, étant plutôt confus, dans un état végétatif ou aux soins intensifs. De tels patients n'ont donc pas été sollicités pour participer. On peut alors déduire que notre échantillon comporte peu de participants ayant des séquelles fonctionnelles très sévères, et peu de participants n'ayant aucun impact fonctionnel. Il importe donc de demeurer prudent dans l'application des conclusions de la présente étude aux individus qui ont un TCC particulièrement léger ou particulièrement sévère.

#### **4. Implications cliniques**

Notre étude est l'une des rares à s'être penchée sur l'évaluation précoce des FE à la suite du TCC, et l'une des encore plus rares à s'être intéressée au devenir fonctionnel à court terme. Par l'utilisation d'un groupe contrôle de patients hospitalisés avec blessures traumatiques, cette étude permet de mieux comprendre l'état des FE des patients en contrôlant pour les facteurs liés à l'hospitalisation. Cette étude aborde la pertinence de certaines mesures neuropsychologiques, facilement administrables au chevet, dans une telle évaluation et dans la prise de décision quant au congé des patients. Nous espérons que nos conclusions permettront d'aider les différents professionnels dans la sélection de leurs outils neuropsychologiques pour l'évaluation au chevet et ce, dans un contexte de traumatologie. De plus, certains auteurs mentionnent qu'il est difficile d'identifier un dysfonctionnement exécutif suivant un TCC, puisque cela peut être le reflet d'un ralentissement de la vitesse de traitement (Azouvi et al., 2016). Or, notre étude permet d'identifier des atteintes exécutives qui ne sont pas seulement attribuables au ralentissement en utilisant des ratios et certains tests non chronométrés. Enfin, les résultats nous permettent de réitérer le fait que des différences entre un groupe clinique et un groupe contrôle ne sont pas systématiquement indicateurs de déficits.

## **Conclusion**

À notre connaissance, cette étude est la première à investiguer spécifiquement les FE des patients TCC en phase aiguë en utilisant un groupe contrôle de patients hospitalisés. Nous avons pu relever des atteintes exécutives chez les groupes de patients TCC, sans toutefois que les performances soient majoritairement déficitaires. Nos analyses exploratoires suggèrent que le fonctionnement exécutif à la suite du TCC est associé au devenir fonctionnel à court terme. En effet, mis à part le test d'Interférence couleur-mot, toutes les mesures utilisées présentent une association avec l'autonomie fonctionnelle au congé du patient. De nouvelles études devront toutefois être effectuées pour confirmer ces résultats. Parmi les mesures sélectionnées, les scores au TMT B, à Fluidité alternée, à l'Empan de chiffres indirect, au Contrôle mental de même que le ratio du temps au Hayling semblent être des outils pertinents pour discriminer les patients TCC des patients avec blessures traumatiques. Nous souhaitons que cette étude puisse contribuer à guider les professionnels dans la sélection de leurs outils et dans la prise de décision quant au congé des patients.

## Références

- Adams, J. H., Graham, D., Murray, L. S., et Scott, G. (1982). Diffuse axonal injury due to nonmissile head injury in humans: an analysis of 45 cases. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 12(6), 557-563.
- Anderson, S. W., Damasio, H., Jones, R. D., et Tranel, D. (1991). Wisconsin Card Sorting Test performance as a measure of frontal lobe damage. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13(6), 909-922.
- Annegers, J. F., Hauser, W. A., Coan, S. P., et Rocca, W. A. (1998). A population-based study of seizures after traumatic brain injuries. *New England Journal of Medicine*, 338(1), 20-24.
- Asikainen, I., Kaste, M., et Sarna, S. (1998). Predicting late outcome for patients with traumatic brain injury referred to a rehabilitation programme: a study of 508 Finnish patients 5 years or more after injury. *Brain Injury*, 12(2), 95-107.
- Atchison, T., Sander, A., Struchen, M., High, W., Roebuck, T., Contant, C., Wefel, J., Novack, T., & Sherer, M. J. T. C. N. (2004). Relationship between neuropsychological test performance and productivity at 1-year following traumatic brain injury. *18(2)*, 249-265.
- Azouvi, P., Arnould, A., Dromer, E., et Vallat-Azouvi, C. (2017). Neuropsychology of traumatic brain injury: An expert overview. *Revue neurologique*.
- Azouvi, P., Vallat-Azouvi, C., Joseph, P.-A., Meulemans, T., Bertola, C., Le Gall, D., Bellmann, A., Roussel, M., Coyette, F., Krier, M., Franconie, C., Bindschadler, C., Diouf, M., Godefroy, O. (2016). Executive functions deficits after severe traumatic brain injury: The GREFEX study. *Journal of head trauma rehabilitation*, 31(3), E10-E20.
- Baddeley, A., Della Sala, S., Gray, C., Papagno, C., et Spinnler, H. (1997). Testing central executive functioning with a pencil-and-paper test. *Methodology of frontal and executive function*, 61-80.
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118(1), 122-141.
- Barker-Collo, S., Jones, K., Theadom, A., Starkey, N., Dowell, A., McPherson, K., Ameratunga, S., Dudley, M., Te Ao, B., & Feigin, V. (2015). Neuropsychological outcome and its

correlates in the first year after adult mild traumatic brain injury: a population-based New Zealand study. *29*(13-14), 1604-1616.

- Bélisle, A. (2017). Dépistage neuropsychologique précoce et prédiction du devenir fonctionnel à court-terme de patients atteints d'un traumatisme craniocérébral à l'aide de la RBANS. Essai doctoral inédit, Université de Montréal. Repéré à <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/19717>
- Billieux, J., Rochat, L., & Van der Linden, M. (2008). Une approche cognitive, affective et motivationnelle de l'impulsivité. *Traité de psychopathologie cognitive: bases théoriques (tome 1)*, 137-152.
- Bishara, S. N., Partridge, F. M., Godfrey, H. P., et Knight, R. G. (1992). Post-traumatic amnesia and Glasgow Coma Scale related to outcome in survivors in a consecutive series of patients with severe closed-head injury. *Brain Injury*, *6*(4), 373-380.
- Boake, C., Millis, S. R., High Jr, W. M., Delmonico, R. L., Kreutzer, J. S., Rosenthal, M., Sherer, M., & Ivanhoe, C. B. (2001). Using early neuropsychologic testing to predict long-term productivity outcome from traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(6), 761-768.
- Bonatti, E., Zamarian, L., Wagner, M., Benke, T., Hollosi, P., Strubreither, W., et Delazer, M. (2008). Making decisions and advising decisions in traumatic brain injury. *Cognitive and behavioral neurology*, *21*(3), 164-175.
- Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning disabilities*, *43*(6), 541-552.
- Braver, T. S., & West, R. (2008). Working memory, executive control, and aging. *The handbook of aging and cognition*, *3*, 311-372.
- Brooks, J., Fos, L. A., Greve, K. W., et Hammond, J. S. (1999). Assessment of executive function in patients with mild traumatic brain injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, *46*(1), 159-163.
- Burgess, P. W., & Shallice, T. The Hayling and Brixton Tests. 1997. UK: Thames Valley Test Company Ltd.
- Burgess, P. W., & Simons, J. S. (2005). 18 Theories of frontal lobe executive function: clinical applications. *The effectiveness of rehabilitation for cognitive deficits*, 211.

- Caeyenberghs, K., Leemans, A., Leunissen, I., Gooijers, J., Michiels, K., Sunaert, S., et Swinnen, S. (2014). Altered structural networks and executive deficits in traumatic brain injury patients. *Brain Structure and Function*, 219(1), 193-209.
- Cardoso, E. R., et Galbraith, S. (1985). Posttraumatic hydrocephalus—a retrospective review. *Surgical neurology*, 23(3), 261-264.
- Carlozzi, N. E., Grech, J., et Tulskey, D. S. (2013). Memory functioning in individuals with traumatic brain injury: An examination of the Wechsler Memory Scale—Fourth Edition (WMS—IV). *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 35(9), 906-914.
- Chevignard, M., Taillefer, C., Picq, C., et Pradat-Diehl, P. (2008). Ecological assessment of executive functions in a patient with acquired brain injury. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 51, 74–83.
- Christodoulou, T., Lewis, M., Ploubidis, G. B., & Frangou, S. (2006). The relationship of impulsivity to response inhibition and decision-making in remitted patients with bipolar disorder. *European Psychiatry*, 21(4), 270-273
- Cicerone, K. D. (1996). Attention deficits and dual task demands after mild traumatic brain injury. *Brain Injury*, 10(2), 79-90.
- Cifu, D. X., Keyser-Marcus, L., Lopez, E., Wehman, P., Kreutzer, J. S., Englander, J., et High, W. (1997). Acute predictors of successful return to work 1 year after traumatic brain injury: a multicenter analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78(2), 125-131.
- Ciurli, P., Formisano, R., Bivona, U., Cantagallo, A., et Angelelli, P. (2011). Neuropsychiatric disorders in persons with severe traumatic brain injury: prevalence, phenomenology, and relationship with demographic, clinical, and functional features. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 26(2), 116-126.
- Clark, J. M., Jak, A. J., & Twamley, E. W. J. R. p. (2020). Cognition and functional capacity following traumatic brain injury in veterans. *Rehabilitation psychology*.
- Coles, J. P., Fryer, T. D., Smielewski, P., Chatfield, D. A., Steiner, L. A., Johnston, A. J., Downey, S. P. M. J., Williams, G. B., Aigbirhio, F., Hutchinson, P. J., Rice, K., Carpenter, T. A., Clark, J. C., Pickard, J. D., & Menon, D. K. (2004). Incidence and mechanisms of cerebral ischemia in early clinical head injury. *Journal of Cerebral Blood Flow et Metabolism*, 24(2), 202-211.

- Crescioni, A., Ehrlinger, J., Alquist, J. L., Conlon, K. E., Baumeister, R. F., Schatschneider, C., & Dutton, G. R. (2011). High trait self-control predicts positive health behaviors and success in weight loss. *Journal of health psychology, 16*(5), 750-759.
- Crosson, B., Novack, T. A., Trener, M. R., et Craig, P. L. (1988). California Verbal Learning Test (CVLT) performance in severely head-injured and neurologically normal adult males. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 10*(6), 754-768.
- Cummings, J. L. (1994). Vascular subcortical dementias: clinical aspects. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders, 5*(3-4), 177-180.
- Dall'Acqua, P., Johannes, S., Mica, L., Simmen, H.-P., Glaab, R., Fandino, J., Schwendinger, M., Meier, C., Ulbrich, E. J., & Müller, A. J. J. o. N. (2017). Prefrontal cortical thickening after mild traumatic brain injury: a one-year magnetic resonance imaging study. *34*(23), 3270-3279.
- De Guise, E., Leblanc, J., Feyz, M., et Lamoureux, J. (2005). Prediction of the level of cognitive functional independence in acute care following traumatic brain injury. *Brain Injury, 19*(13), 1087-1093.
- De Guise, E., LeBlanc, J., Feyz, M., Lamoureux, J., et Greffou, S. (2017). Prediction of behavioural and cognitive deficits in patients with traumatic brain injury at an acute rehabilitation setting. *Brain Injury, 31*(8), 1061-1068.
- Deb, S., Lyons, I., Koutzoukis, C., Ali, I., et McCarthy, G. (1999). Rate of psychiatric illness 1 year after traumatic brain injury. *American Journal of Psychiatry, 156*(3), 374-378.
- Department of Veterans Affairs and Department of Defense. (2016). *Clinical Practice Guideline: Management of Concussion/mild Traumatic Brain Injury*. Repéré à <https://www.healthquality.va.gov/guidelines/Rehab/mtbi/mTBICPGFullCPG50821816.pdf>
- de Freitas Cardoso, M. G., Faleiro, R. M., de Paula, J. J., Kummer, A., Caramelli, P., Teixeira, A. L., de Souza, L. C., & Miranda, A. S. J. F. i. n. (2019). Cognitive impairment following acute mild traumatic brain injury. *10*.
- Delacour, H., Servonnet, A., Perrot, A., Vigezzi, J., & Ramirez, J. (2005). *La courbe ROC (receiver operating characteristic): principes et principales applications en biologie clinique*. Paper presented at the Annales de biologie clinique.
- Delis DC, Kaplan E, Kramer JH (2001): *The Delis-Kaplan Executive Function System*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.

- Deveney, C. M., & Deldin, P. (2006). A preliminary investigation of cognitive flexibility for emotional information in major depressive disorder and non-psychiatric controls. *Emotion*, 6(3), 429-437. doi: 10.1037/1528-3542.6.3.429
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168.
- Diaz-Arrastia, R., et Vos, P. E. (2015). The clinical problem of traumatic head injury. *Traumatic Brain Injury*, 1-12.
- Dikmen, S. S., et Levin, H. S. (1993). Methodological issues in the study of mild head injury. *The Journal of head trauma rehabilitation*.
- Dikmen, S. S., Machamer, J. E., Powell, J. M., et Temkin, N. R. (2003). Outcome 3 to 5 years after moderate to severe traumatic brain injury<sup>1</sup>. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 84(10), 1449-1457.
- Dimoska-Di Marco, A., McDonald, S., Kelly, M., Tate, R., et Johnstone, S. (2011). A meta-analysis of response inhibition and Stroop interference control deficits in adults with traumatic brain injury (TBI). *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 33(4), 471-485.
- Draper, K., et Ponsford, J. (2008). Cognitive functioning ten years following traumatic brain injury and rehabilitation. *Neuropsychology*, 22(5), 618.
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., et Pillon, B. (2000). The FAB: a frontal assessment battery at bedside. *Neurology*, 55(11), 1621-1626.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., ... & Sexton, H. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental psychology*, 43(6), 1428.
- Dunning, D. L., Westgate, B., et Adlam, A.-L. R. (2016). A meta-analysis of working memory impairments in survivors of moderate-to-severe traumatic brain injury. *Neuropsychology*, 30(7), 811.
- Dymowski, A. R., Owens, J. A., Ponsford, J. L., & Willmott, C. (2015). Speed of processing and strategic control of attention after traumatic brain injury. *Journal of clinical experimental neuropsychology*, 37(10), 1024-1035.
- Eakin, L., Minde, K., Hechtman, L., Ochs, E., Krane, E., Bouffard, R., ... & Looper, K. (2004). The marital and family functioning of adults with ADHD and their spouses. *Journal of Attention Disorders*, 8(1), 1-10.

- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal Aging and Prospective Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(4), 717–726.
- Ellenberg, J. H., Levin, H. S., et Saydjari, C. (1996). Posttraumatic amnesia as a predictor of outcome after severe closed head injury: Prospective assessment. *Archives of Neurology*, 53(8), 782-791.
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. *Psychology of learning and motivation*, 44, 145-200.
- Espy, K. A. (2004). Using developmental, cognitive, and neuroscience approaches to understand executive control in young children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 379-384.
- Faul, M., Xu, L., Wald, M. M., et Coronado, V. G. (2010). Traumatic brain injury in the United States. *emergency department visits, hospitalizations, and deaths*, 2010.
- Felmingham, K. L., Baguley, I. J., & Green, A. M. J. N. (2004). Effects of diffuse axonal injury on speed of information processing following severe traumatic brain injury. *18*(3), 564.
- Fonseca, R. P., Zimmermann, N., Cotrena, C., Cardoso, C., Kristensen, C. H., et Grassi-Oliveira, R. (2012). Neuropsychological assessment of executive functions in traumatic brain injury: Hot and cold components. *Psychology et Neuroscience*, 5(2), 183.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 18(1), 1-16.
- Gauthier, S., LeBlanc, J., Seresova, A., Laberge-Poirier, A., Correa, J. A., Alturki, A. Y., de Guise, E. (2018). Acute prediction of outcome and cognitive-communication impairments following traumatic brain injury: The influence of age, education and site of lesion. *Journal of communication disorders*, 73, 77-90.
- Ghawami, H., Sadeghi, S., Raghbi, M., et Rahimi-Movaghar, V. (2017). Executive functioning of complicated-mild to moderate traumatic brain injury patients with frontal contusions. *Applied Neuropsychology: Adult*, 24(4), 299-307.
- Girard D, Brown J, Burnett-Stolnack M, et al. The relationship of neuropsychological status and productive outcomes following traumatic brain injury. *Brain Inj* 1996;10:663-76.
- Gomez-Hernandez R, Max JE, Kosier T, et al: Social impairment and depression after traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78:1321–1326

- Grattan, L. M., & Eslinger, P. J. (1989). Higher cognition and social behavior: Changes in cognitive flexibility and empathy after cerebral lesions. *Neuropsychology*, 3(3), 175.
- Green, R. E., Colella, B., Hebert, D. A., Bayley, M., Kang, H. S., Till, C., & Monette, G. (2008). Prediction of return to productivity after severe traumatic brain injury: investigations of optimal neuropsychological tests and timing of assessment. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 89(12), S51-S60.
- Grigsby, J. I. M., Kaye, K., & Robbins, L. J. (1992). Reliabilities, norms and factor structure of the Behavioral Dyscontrol Scale. *Perceptual and motor skills*, 74(3), 883-892.
- Hammond, F. M., Grattan, K. D., Sasser, H., Corrigan, J. D., Rosenthal, M., Bushnik, T., et Shull, W. (2004). Five years after traumatic brain injury: a study of individual outcomes and predictors of change in function. *NeuroRehabilitation*, 19(1), 25-35.
- Harlow, J. M. (1868). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *History of Psychiatry*, 4(14), 274-281.
- Harris, O. A., Lane, B., Lewen, A., et Matz, P. G. (2000). Infratentorial traumatic brain hemorrhage: May outcome be predicted by initial GCS? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 49(6), 1076-1082.
- Hart, T., Ketchum, J. M., O'Neil-Pirozzi, T. M., Novack, T. A., Johnson-Greene, D., & Dams-O'Connor, K. J. R. p. (2019). Neurocognitive status and return to work after moderate to severe traumatic brain injury. *64(4)*, 435.
- Heyder, K., Suchan, B., et Daum, I. (2004). Cortico-subcortical contributions to executive control. *Acta psychologica*, 115(2-3), 271-289.
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., et Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in cognitive sciences*, 16(3), 174-180.
- Holdnack, J. A., Iverson, G. L., Silverberg, N. D., Tulsky, D. S., & Heinemann, A. W. J. R. p. (2017). NIH toolbox cognition tests following traumatic brain injury: Frequency of low scores. *62(4)*, 474.
- Jacobs, B., Beems, T., van der Vliet, T. M., van Vugt, A. B., Hoedemaekers, C., Horn, J., Franschman, G., Haitsma, I., van der Naalt, J., & Andriessen, T. M. J. N. c. (2013). Outcome prediction in moderate and severe traumatic brain injury: a focus on computed tomography variables. *19(1)*, 79-89.

- Jahromi, L. B., et Stifter, C. A. (2008). Individual differences in preschoolers' self-regulation and theory of mind. *Merrill-Palmer Quarterly (1982-)*, 125-150.
- Jiang, J.-Y., Gao, G.-Y., Li, W.-P., Yu, M.-K., et Zhu, C. (2002). Early indicators of prognosis in 846 cases of severe traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 19(7), 869-874.
- Johansson, B., Berglund, P., & Rönnbäck, L. (2009). Mental fatigue and impaired information processing after mild and moderate traumatic brain injury. *Brain injury*, 23(13-14), 1027-1040.
- Johnston, I., Johnston, J., et Jennett, B. (1970). Intracranial-pressure changes following head injury. *The Lancet*, 296(7670), 433-436.
- Jones, P. A., Andrews, P. J., Midgley, S., Anderson, S. I., Piper, I. R., Tocher, J. L., Housley, A. M., Corrie, J. A., Slattery, J., & Dearden, N. M. J. J. o. n. a. (1994). Measuring the burden of secondary insults in head-injured patients during intensive care. 6, 4-4.
- Jorge RE, Robinson RG, Arndt SV, et al: Depression following traumatic brain injury: a 1 year longitudinal study. *J Affect Disord* 1993; 27:233–243
- Jourdan, C., Bayen, E., Pradat-Diehl, P., Ghout, I., Darnoux, E., Azerad, S., Vallat-Azouvi, C., Charanton, J., Aegerter, P., Ruet, A. J. A. o. p., & medicine, r. (2016). A comprehensive picture of 4-year outcome of severe brain injuries. Results from the Paris-TBI study. 59(2), 100-106.
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. J. P. b. (2018). The unity and diversity of executive functions: A systematic review and re-analysis of latent variable studies. 144(11), 1147.
- Kasahara, M., Menon, D. K., Salmond, C. H., Outtrim, J. G., Tavares, J. V. T., Carpenter, T. A., ... & Stamatakis, E. A. (2011). Traumatic brain injury alters the functional brain network mediating working memory. *Brain Injury*, 25(12), 1170-1187.
- Katz, D. I., et Alexander, M. P. (1994). Traumatic brain injury: predicting course of recovery and outcome for patients admitted to rehabilitation. *Archives of Neurology*, 51(7), 661-670.
- Kennedy M, Wozniak J, Muetzel R, Mueller B, Chiou H-H, Pantekoek K, Lim K. White matter and neurocognitive changes in adults with chronic traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society* 2009;15:130–136

- Kinsella, G., Murtagh, D., Landry, A., Homfray, K., Hammond, M., O'Beirne, L., ... Ponsford, J. (1996). Everyday memory following traumatic brain injury. *Brain Injury*, *10*(7), 499–507.
- Krpan, K. M., Levine, B., Stuss, D. T., & Dawson, D. R. (2007). Executive function and coping at one-year post traumatic brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *29*(1), 36-46.
- Kumar, S., Rao, S. L., Chandramouli, B. A., et Pillai, S. (2013). Reduced contribution of executive functions in impaired working memory performance in mild traumatic brain injury patients. *Clinical neurology and neurosurgery*, *115*(8), 1326-1332.
- Levin, H. S., Culhane, K. A., Mendelsohn, D., Lilly, M. A., Bruce, D., Fletcher, J. M., Chapman, S. B., Harward, H., & Eisenberg, H. M. J. A. o. n. (1993). Cognition in relation to magnetic resonance imaging in head-injured children and adolescents. *50*(9), 897-905.
- Levin, H. S., Li, X., McCauley, S. R., Hanten, G., Wilde, E. A., et Swank, P. (2013). Neuropsychological outcome of mTBI: a principal component analysis approach. *Journal of neurotrauma*, *30*(8), 625-632.
- Lingsma, H. F., Yue, J. K., Maas, A. I., Steyerberg, E. W., Manley, G. T., including, T.-T. I., Cooper, S. R., Dams-O'Connor, K., Gordon, W. A., & Menon, D. K. J. J. o. n. (2015). Outcome prediction after mild and complicated mild traumatic brain injury: external validation of existing models and identification of new predictors using the TRACK-TBI pilot study. *32*(2), 83-94.
- Logan, G. D., Schachar, R. J., et Tannock, R. (1997). Impulsivity and inhibitory control. *Psychological Science*, *8*(1), 60-64.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Tavistock, Basic-Book.
- Machamer J, Temkin N, Fraser R, Doctor JN, Dikmen S. Stability of employment after traumatic brain injury. *J Int Neuropsychol Soc* 2005;11:807-16.
- Mathias, J., Bowden, S., Bigler, E., et Rosenfeld, J. (2007). Is performance on the Wechsler test of adult reading affected by traumatic brain injury? *British Journal of Clinical Psychology*, *46*(4), 457-466.
- Mayer, A. R., Mannell, M. V., Ling, J., Elgie, R., Gasparovic, C., Phillips, J. P., Doezema, D., & Yeo, R. A. J. H. b. m. (2009). Auditory orienting and inhibition of return in mild traumatic brain injury: a fMRI study. *30*(12), 4152-4166.

- Mazaux, J.-M., Masson, F., Levin, H. S., Alaoui, P., Maurette, P., et Barat, M. (1997). Long-term neuropsychological outcome and loss of social autonomy after traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78(12), 1316-1320.
- McAllister, T. W. (2011). Neurobiological consequences of traumatic brain injury. *Dialogues in clinical neuroscience*, 13(3), 287.
- McCauley, S. R., Wilde, E. A., Barnes, A., Hanten, G., Hunter, J. V., Levin, H. S., & Smith, D. H. J. J. o. N. (2014). Patterns of early emotional and neuropsychological sequelae after mild traumatic brain injury. *31*(10), 914-925.
- McDonald, B. C., Flashman, L. A., et Saykin, A. J. (2002). Executive dysfunction following traumatic brain injury: neural substrates and treatment strategies. *NeuroRehabilitation*, 17(4), 333-344.
- McDowell, S., Whyte, J., et D'Esposito, M. (1997). Working memory impairments in traumatic brain injury: evidence from a dual-task paradigm. *Neuropsychologia*, 35(10), 1341-1353.
- McLean, A. J., Dikmen, S., R Wyle, A., et L Gale, J. (1984). Psychosocial functioning at 1 month after head injury. *Neurosurgery*, 14(4), 393-399.
- Menon, D. K., Coles, J. P., Gupta, A. K., Fryer, T. D., Smielewski, P., Chatfield, D. A., Aigbirhio, F., Skepper, J. N., Minhas, P. S., & Hutchinson, P. J. J. C. c. m. (2004). Diffusion limited oxygen delivery following head injury. *32*(6), 1384-1390.
- Menon, D. K., Schwab, K., Wright, D. W., et Maas, A. I. (2010). Position statement: definition of traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91(11), 1637-1640.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 24(1), 167-202.
- Miller, H. V., Barnes, J. C., & Beaver, K. M. (2011). Self-control and health outcomes in a nationally representative sample. *American journal of health behavior*, 35(1), 15-27.
- Millis, S. R., Rosenthal, M., & Lourie, I. F. (1994). Predicting community integration after traumatic brain injury with neuropsychological measures. *International Journal of Neuroscience*, 79(3-4), 165-167.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., et Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.

- Mozafari, M., Nejad, S. A. M., Peyvstegar, M., Saghafinia, M., & Soltani, S. J. I. J. o. E. M. (2019). Cognitive status of patients One Year After Mild Traumatic Brain Injury: A Case–Control Study. *6*(1), 9.
- Nolin, P. (2006). Executive memory dysfunctions following mild traumatic brain injury. *The Journal of head trauma rehabilitation, 21*(1), 68-75.
- Norman, D. A., et Shallice, T. (1986). Attention to action *Consciousness and self-regulation* (pp. 1-18): Springer.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1–18). New York: Plenum
- Novack, T. A., Bush, B. A., Meythaler, J. M., et Canupp, K. (2001). Outcome after traumatic brain injury: pathway analysis of contributions from premorbid, injury severity, and recovery variables. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 82*(3), 300-305.
- Nybo, T., Sainio, M., & Müller, K. (2004). Stability of vocational outcome in adulthood after moderate to severe preschool brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society, 10*, 719–723.
- Olver, J. H., Ponsford, J. L., et Curran, C. A. (1996). Outcome following traumatic brain injury: a comparison between 2 and 5 years after injury. *Brain Injury, 10*(11), 841-848.
- Ono, J.-i., Yamaura, A., Kubota, M., Okimura, Y., et Isobe, K. (2001). Outcome prediction in severe head injury: analyses of clinical prognostic factors. *Journal of Clinical Neuroscience, 8*(2), 120-123.
- Osborne-Crowley, K., Wilson, E., De Blasio, F., Wearne, T., Rushby, J., & McDonald, S. J. N. (2019). Preserved rapid conceptual processing of emotional expressions despite reduced neuropsychological performance following traumatic brain injury.
- Ottaviani, C., Zingaretti, P., Petta, A. M., Antonucci, G., Thayer, J. F., & Spitoni, G. F. (2018). Resting heart rate variability predicts inhibitory control above and beyond impulsivity. *Journal of Psychophysiology*.
- Pappius, H. M. (1974). Fundamental aspects of brain edema. *Handbook of clinical neurology, 16*(Part 1), 167-185.

- Periáñez, J., Ríos-Lago, M., Rodríguez-Sánchez, J., Adrover-Roig, D., Sánchez-Cubillo, I., Crespo-Facorro, B., Quemada, J., & Barcelo, F. J. A. o. C. N. (2007). Trail Making Test in traumatic brain injury, schizophrenia, and normal ageing: Sample comparisons and normative data. *22*(4), 433-447.
- Perlstein, W. M., Cole, M. A., Demery, J. A., Seignourel, P. J., Dixit, N. K., Larson, M. J., et Briggs, R. W. (2004). Parametric manipulation of working memory load in traumatic brain injury: behavioral and neural correlates. *Journal of the international neuropsychological Society, 10*(5), 724-741.
- Pettemeridou, E., Kennedy, M. R., & Constantinidou, F. J. N. (2020). Executive functions, self-awareness and quality of life in chronic moderate-to-severe TBI. (Preprint), 1-10.
- Plassman, B. L., Havlik, R., Steffens, D., Helms, M., Newman, T., Drosdick, D., Phillips, C., Gau, B., Welsh-Bohmer, K., & Burke, J. J. N. (2000). Documented head injury in early adulthood and risk of Alzheimer's disease and other dementias. *55*(8), 1158-1166.
- Ponsford, J., Draper, K., et Schönberger, M. (2008). Functional outcome 10 years after traumatic brain injury: its relationship with demographic, injury severity, and cognitive and emotional status. *Journal of the international neuropsychological Society, 14*(2), 233-242.
- Ponsford, J., et Kinsella, G. (1992). Attentional deficits following closed-head injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 14*(5), 822-838.
- Ponsford, J., Willmott, C., Rothwell, A., Cameron, P., Kelly, A.-M., Nelms, R., Curran, C., & Ng, K. J. J. o. t. I. N. S. (2000). Factors influencing outcome following mild traumatic brain injury in adults. *6*(5), 568-579.
- Ponsford, J. L., Downing, M. G., Olver, J., Ponsford, M., Acher, R., Carty, M., et Spitz, G. (2014). Longitudinal follow-up of patients with traumatic brain injury: outcome at two, five, and ten years post-injury. *Journal of neurotrauma, 31*(1), 64-77.
- Prigatano, G. (1992). Personality disturbances associated with traumatic brain injury. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 60*, 360-368.
- Rabinowitz, A. R., et Levin, H. S. (2014). Cognitive sequelae of traumatic brain injury. *The Psychiatric Clinics of North America, 37*(1), 1.
- Rakers, S. E., Scheenen, M. E., Westerhof-Evers, H. J., de Koning, M. E., van der Horn, H. J., van der Naalt, J., & Spikman, J. M. J. N. (2018). Executive functioning in relation to coping in mild versus moderate-severe traumatic brain injury. *32*(2), 213.

- Ramlackhansingh, A. F., Brooks, D. J., Greenwood, R. J., Bose, S. K., Turkheimer, F. E., Kinnunen, K. M., Gentleman, S., Heckemann, R. A., Gunanayagam, K., & Gelosa, G. J. A. o. n. (2011). Inflammation after trauma: microglial activation and traumatic brain injury. *70(3)*, 374-383.
- Rapoport M, McCullagh S, Streiner D, et al: The clinical significance of major depression following mild traumatic brain injury. *Psychosomatics* 2003; 44:33–37
- Rassovsky, Y., Levi, Y., Agranov, E., Sela-Kaufman, M., Sverdlik, A., et Vakil, E. (2015). Predicting long-term outcome following traumatic brain injury (TBI). *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 37(4), 354-366.
- Rassovsky, Y., Satz, P., Alfano, M. S., Light, R. K., Zaucha, K., McArthur, D. L., & Hovda, D. (2006). Functional outcome in TBI II: verbal memory and information processing speed mediators. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(4), 581-591.
- Reitan, R. M. (1955). The relation of the trail making test to organic brain damage. *Journal of consulting psychology*, 19(5), 393.
- Richard, N. M., O'Connor, C., Dey, A., Robertson, I. H., & Levine, B. J. N. (2018). External modulation of the sustained attention network in traumatic brain injury. *32(5)*, 541.
- Ríos, M., Periañez, J. A., & Muñoz-Céspedes, J. M. J. B. i. (2004). Attentional control and slowness of information processing after severe traumatic brain injury. *18(3)*, 257-272.
- Rochat, L., Beni, C., Annoni, J.-M., Vuadens, P., et Van der Linden, M. (2013). How inhibition relates to impulsivity after moderate to severe traumatic brain injury. *Journal of the international neuropsychological Society*, 19(8), 890-898.
- Rojas, N., Laguë-Beauvais, M., Belisle, A., Lamoureux, J., AlSideiri, G., Marcoux, J., Maleki, M., Alturki, A. Y., Anchouche, S., & Alquraini, H. J. A. N. A. (2019). Frontal assessment battery (FAB) performance following traumatic brain injury hospitalized in an acute care setting. *26(4)*, 319-330.
- Rosenthal, M., Christensen, B. K., et Ross, T. P. (1998). Depression following traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 79(1), 90-103.
- Russell, W. R., et Smith, A. (1961). Post-traumatic amnesia in closed head injury. *Archives of Neurology*, 5(1), 4-17.
- Satz, P., Alfano, M. S., Light, R., Morgenstern, H., Zaucha, K., Asarnow, R. F., et Newton, S. (1999). Persistent post-concussive syndrome: A proposed methodology and literature review

to determine the effects, if any, of mild head and other bodily injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 21(5), 620-628.

Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 298(1089), 199-209.

Shallice, T., et Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114(2), 727-741.

Shamay-Tsoory, S., Tomer, R., Berger, B., & Aharon-Peretz, J. (2003). Characterization of empathy deficits following prefrontal brain damage: The role of the right ventromedial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(3), 324- 337.

Sharp, D. J., Beckmann, C. F., Greenwood, R., Kinnunen, K. M., Bonnelle, V., De Boissezon, X., Powell, J. H., Counsell, S. J., Patel, M. C., & Leech, R. J. B. (2011). Default mode network functional and structural connectivity after traumatic brain injury. *134*(8), 2233-2247.

Sherer, M., Sander, A. M., Nick, T. G., High Jr, W. M., Malec, J. F., et Rosenthal, M. (2002). Early cognitive status and productivity outcome after traumatic brain injury: findings from the TBI model systems. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 83(2), 183-192.

Sherer, M., Yablon, S. A., Nakase-Richardson, R., & Nick, T. G. (2008). Effect of severity of post-traumatic confusion and its constituent symptoms on outcome after traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 89(1), 42-47.

Shum, D. H., Harris, D., et O'Gorman, J. G. (2000). Effects of severe traumatic brain injury on visual memory. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22(1), 25-39.

Smith, D. H., Meaney, D. F., & Shull, W. H. (2003). Diffuse axonal injury in head trauma. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 18(4), 307-316.

Snow, P., Douglas, J., et Ponsford, J. (1998). Conversational discourse abilities following severe traumatic brain injury: A follow up study. *Brain Injury*, 12(11), 911-935.

Sorg, M. S. F., Delano-Wood, L., Luc, M. N., Schiehser, D. M., Hanson, K. L., Nation, D. A., Lanni, M. E., Jak, A. J., Lu, K., & Meloy, M. J. T. J. o. h. t. r. (2014). White matter integrity in veterans with mild traumatic brain injury: associations with executive function and loss of consciousness. 29(1), 21.

Sperduti, M., Makowski, D., Arcangeli, M., Wantzen, P., Zalla, T., Lemaire, S., Dokic, J., Pelletier, J., & Piolino, P. J. A. p. (2017). The distinctive role of executive functions in implicit emotion regulation. *173*, 13-20.

- Spitz, G., Ponsford, J. L., Rudzki, D., et Maller, J. J. (2012). Association between cognitive performance and functional outcome following traumatic brain injury: A longitudinal multilevel examination. *Neuropsychology*, 26(5), 604.
- Strich, S. J. (1956). Diffuse degeneration of the cerebral white matter in severe dementia following head injury. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 19(3), 163.
- Struchen, M. A., Clark, A. N., Sander, A. M., Mills, M. R., Evans, G., et Kurtz, D. (2008). Relation of executive functioning and social communication measures to functional outcomes following traumatic brain injury. *NeuroRehabilitation*, 23(2), 185-198.
- Stuss, D., Ely, P., Hugenholtz, H., Richard, M., LaRoche, S., Poirier, C., et Bell, I. (1985). Subtle neuropsychological deficits in patients with good recovery after closed head injury. *Neurosurgery*, 17(1), 41-47.
- Stuss, D., Stethem, L., Hugenholtz, H., Picton, T., Pivik, J., et Richard, M. (1989). Reaction time after head injury: fatigue, divided and focused attention, and consistency of performance. *Journal of Neurology, Neurosurgery et Psychiatry*, 52(6), 742-748.
- Stuss, D. T., et Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological research*, 63(3-4), 289-298.
- Stuss, D. T. (2011). Traumatic brain injury: relation to executive dysfunction and the frontal lobes. *Current opinion in neurology*, 24(6), 584-589.
- Suchy, Y., Ziemnik, R. E., et Niermeyer, M. A. (2017). Assessment of Executive Functions in Clinical Settings *Executive Functions in Health and Disease* (pp. 551-569): Elsevier.
- Teasdale, G., et Jennett, B. (1974). Assessment of coma and impaired consciousness: a practical scale. *The Lancet*, 304(7872), 81-84.
- Teasdale, G. M., Pettigrew, L. E., Wilson, J. L., Murray, G., & JENNETT, B. (1998). Analyzing outcome of treatment of severe head injury: a review and update on advancing the use of the Glasgow Outcome Scale. *Journal of neurotrauma*, 15(8), 587-597.
- Theadom, A., McDonald, S., Starkey, N., Barker-Collo, S., Jones, K. M., Ameratunga, S., Wilson, E., & Feigin, V. L. J. N. (2019). Social cognition four years after mild-TBI: An age-matched prospective longitudinal cohort study. 33(4), 560.
- Unsworth, N., Heitz, R. P., & Engle, R. W. (2005). Working memory capacity in hot and cold cognition. In R. W. Engle, G. Sedek, U. Hecker, & D. N. McIntosh (Eds.), *Cognitive*

*limitations in aging and psychopathology* (pp. 19-43). New York: Cambridge University Press

- Uomoto, J. M., et Esselman, P. C. (1995). Psychiatric disorders and functional disability in outpatients with traumatic brain injuries. *Am J Psychiatry*, *152*(10).
- Van Reekum, R., Bolago, I., Finlayson, M., Garner, S., et Links, P. (1996). Psychiatric disorders after traumatic brain injury. *Brain Injury*, *10*(5), 319-328.
- Van Zomeren, A., et Van den Burg, W. (1985). Residual complaints of patients two years after severe head injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery et Psychiatry*, *48*(1), 21-28.
- Vanderploeg, R. D., Crowell, T. A., et Curtiss, G. (2001). Verbal learning and memory deficits in traumatic brain injury: Encoding, consolidation, and retrieval. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *23*(2), 185-195.
- Veeramuthu, V., Narayanan, V., Kuo, T. L., Delano-Wood, L., Chinna, K., Bondi, M. W., Waran, V., Ganesan, D., & Ramli, N. J. J. o. n. (2015). Diffusion tensor imaging parameters in mild traumatic brain injury and its correlation with early neuropsychological impairment: a longitudinal study. *32*(19), 1497-1509.
- Vilkki, J., Ahola, K., Holst, P., Ohman, J., Servo, A., & Heiskanen, O. (1994). Prediction of psychosocial recovery after head injury with cognitive test and neurobehavioral ratings. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *16*, 325-338.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler memory scale (WMS-III)* (Vol. 14). San Antonio, TX: Psychological corporation.
- Wechsler, D., Coalson, D. L., & Raiford, S. E. (2008). WAIS-IV. *Wechsler Adult Intelligence Scale: Fourth Edition. Technical and interpretative manual*. San Antonio, TX: NCS Pearson.
- Whiteneck, G., Brooks, C., Mellick, D., Harrison-Felix, C., Terrill, M. S., et Noble, K. (2004). Population-based estimates of outcomes after hospitalization for traumatic brain injury in Colorado. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *85*, 73-81.
- Whiting, D. (2020). Traumatic Brain Injury with Personality Change: a Challenge to Mental Capacity Law in England and Wales. *Psychological Injury and Law*, *13*(1), 11-18.
- Wilbertz, T., Deserno, L., Horstmann, A., Neumann, J., Villringer, A., Heinze, H.-J., Boehler, C. N., & Schlagenhauf, F. J. N. (2014). Response inhibition and its relation to multidimensional impulsivity. *103*, 241-248.

Wood, R. L., & Rutterford, N. A. (2006). Demographic and cognitive predictors of long-term psychosocial outcome following traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12(3), 350-358.

Zaloshnja, E., Miller, T., Langlois, J. A., et Selassie, A. W. (2008). Prevalence of long-term disability from traumatic brain injury in the civilian population of the United States, 2005. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 23(6), 394-400.

## Annexe 1

Tableau 9 *Résumé des principaux résultats*

	<b>Distingue les TCC<sup>1</sup> ?</b>	<b>Intérêt diagnostique<sup>2</sup>?</b>	<b>Prédit<sup>3</sup> :</b>	<b>Permet d'estimer le devenir fonctionnel<sup>4</sup> ?</b>
<b>ICM (ratio condition 4)</b>	Non	Non	-	Non
<b>TMT (ratio)</b>	Non	Non	GOSE	Non
<b>TMT (condition B)</b>	Oui	Oui (moyen)	LOS, Destination	Oui
<b>Fluidité alternée</b>	Oui	Oui (peu)	LOS, Destination, GOSE	Oui
<b>Empan de chiffres indirect</b>	Oui	Oui (peu)	Destination	Oui
<b>Contrôle mental</b>	Oui	Oui (moyen)	Destination	Oui
<b>ICM (ratio condition 3)</b>	Non	Non	-	Non
<b>Hayling (score d'erreurs)</b>	Oui	Non	Destination	Oui
<b>Hayling (ratio temps)</b>	Oui	Oui (peu)	Destination	Oui
<b>BREF (conditions 5 et 6)</b>	Non	Non	Destination	Oui

*Notes.* ICM = Interférence couleur-mot; TMT = Trail Making Test; BREF = Batterie rapide d'efficacité frontale. 1 : tel que déterminé par les ANOVAs (objectif 1), 2 : tel que déterminé par les analyses ROC (objectif 1), 3 : tel que mesuré par les régression linéaires et logistiques binaires (objectif 2), 4 : tel qu'inféré par la capacité à prédire le LOS, la destination au congé ou le résultat à la GOSE