

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR  
ZACHARY BEAUDET

ALTÉRATIONS BIOMÉCANIQUES DE LA MARCHÉ SUR TAPIS ROULANT  
DANS UN CONTEXTE D'ANTICIPATION ET D'EXÉCUTION D'UNE DOUBLE  
TÂCHE CHEZ LES ADOLESCENTS AYANT SUBI UNE COMMOTION  
CÉRÉBRALE

NOVEMBRE 2018

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

# UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

## Ce mémoire a été dirigé par :

Philippe Fait, Ph.D., CAT(C), ATC Directeur de recherche	Université du Québec à Trois-Rivières Rattachement institutionnel
---	--

Karine Boivin, Ph.D. Co-directrice de recherche	Université du Québec à Trois-Rivières Rattachement institutionnel
--	--

## Jury d'évaluation du mémoire :

Philippe Fait, Ph.D., CAT(C), ATC Directeur de recherche	Université du Québec à Trois-Rivières Rattachement institutionnel
---	--

Karl F Zabjeck, Ph.D. Évaluateur externe	University of Toronto Rattachement institutionnel
---	--

Olivier Hue, Ph.D. Évaluateur interne	Université du Québec à Trois-Rivières Rattachement institutionnel
--	--

## RÉSUMÉ

Les commotions cérébrales peuvent être difficiles à diagnostiquer dû aux multiples systèmes humains impliqués et la variété de signes et symptômes, subtils à détecter. Nous avons voulu identifier les paramètres de marche sensibles pour la détection d'altérations fonctionnelles et cognitives résiduelles chez des adolescents commotionnés.

Dix huit participants, répartis selon deux groupes similaires, soit un groupe de dix adolescents commotionnés (GR.EXP âge moyen :  $13,2 \pm 1,8$  ans) et un groupe témoin, de huit adolescents (GR.TÉM., âge moyen :  $14,6 \pm 1,4$  ans). La marche sur tapis roulant a été évaluée dans des conditions d'anticipation, de simple tâche et de double tâche. Des ANOVA ont été effectuées pour déterminer les effets de conditions et de groupe sur des paramètres de marche spécifiques: le dégagement maximal pied-sol, la longueur et la durée de la l'enjambée. Des analyses ont été effectuées sur les valeurs moyennes et sur la variabilité inter-cycle de marche.

Des effets d'interaction significatifs entre le facteur groupe et condition ont aussi été observés entre les conditions d'anticipation comparativement à la condition de double tâche. Ainsi, le GR.EXP en comparaison au GR.TÉM présente une longueur d'enjambée diminuée ( $F_{3,48} = 6,38 ; p < 0,01$ ) une durée de l'enjambée augmentée ( $F_{3,48} = 5,24 ; p < 0,01$ ) et une hauteur maximale de dégagement pied-sol diminuée ( $F_{3,48} = 5,28 ; p < 0,01$ ).

Cette étude a montré des résultats concluants et pertinents pour détecter des paramètres de marche sensibles aux commotions cérébrales dans un contexte de double tâche. Permettant ainsi, une meilleure évaluation et suivi des adolescents.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>I</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>VII</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE</b> .....	<b>1</b>
1.1 INTRODUCTION.....	1
1.2 PROBLÉMATIQUE .....	4
<b>CHAPITRE 2 : ÉTAT DES CONNAISSANCES</b> .....	<b>6</b>
2.1 TRAUMATISME CRANIOCÉRÉBRAL (TCC) .....	6
2.2 TRAUMATISME CRANIOCÉRÉBRAL LÉGER (TCCL).....	8
2.3 COMMOTION CÉRÉBRALE.....	10
2.4 DONNÉES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET COMMOTION CÉRÉBRALE .....	13
2.5 SIGNES ET SYMPTÔMES DE LA COMMOTION CÉRÉBRALE.....	15
2.6 COMMOTION CÉRÉBRALE CHEZ LES ENFANTS ET LES ADOLESCENTS.....	19
2.7 LOCOMOTION .....	20
2.7.1 Marche sur tapis roulant et marche au sol .....	22
2.8 UTILISATION D'UN OBSTACLE .....	25
2.8.1 Obstacle à enjamber .....	26

2.8.2 Obstacle sur tapis roulant .....	28
2.9 SPHÈRE COGNITIVE .....	30
2.9.1 Attention .....	30
2.9.2 Tâche de Stroop.....	31
2.9.3 Utilisation de la tâche de Stroop chez les personnes ayant subi une commotion cérébrale .....	32
2.10 CONTEXTE DE DOUBLE TÂCHE .....	33
2.10.1 Pourquoi utiliser un contexte de double tâche ? .....	34
2.11. EFFETS D'ANTICIPATION.....	40
<b>CHAPITRE 3 : ARTICLE.....</b>	<b>42</b>
RÉSUMÉ.....	44
INTRODUCTION.....	47
MÉTHODOLOGIE .....	51
RÉSULTATS .....	60
DISCUSSION .....	65
CONCLUSION .....	70
<b>CHAPITRE 4 : DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE A.....</b>	<b>90</b>
COMPLÉMENTAIRE 1: TEST DE VALIDITÉ ET DE REPRODUCTIBILITÉ DE LA VITESSE DU TAPIS ROULANT .....	91

<b>ANNEXE B.....</b>	<b>94</b>
QUESTIONNAIRE TÉLÉPHONIQUE.....	95
<b>ANNEXE C.....</b>	<b>100</b>
LETTRE D'INFORMATION.....	101
<b>ANNEXE D.....</b>	<b>105</b>
FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....	106
<b>ANNEXE E.....</b>	<b>108</b>
AFFICHE DE RECRUTEMENT POUR LE GROUPE EXPÉRIMENTAL.....	108
<b>ANNEXE F.....</b>	<b>110</b>
AFFICHE DE RECRUTEMENT POUR LE GROUPE TÉMOIN.....	110
<b>ANNEXE G.....</b>	<b>112</b>
INVENTAIRE DES SYMPTÔMES POST-COMMOTION.....	113
<b>ANNEXE H.....</b>	<b>119</b>
ÉCHELLES ANALOGIQUES DE CONFIANCE EN L'ÉQUILIBRE (EVA).....	120
<b>ANNEXE I.....</b>	<b>125</b>
CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS.....	125

## **LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES**

Tableau 1 : Principaux signes et symptômes communs à la suite d'une commotion cérébrale.....	16
Tableau 2: Critères de diagnostic du syndrome post-commotionnel.....	18
Tableau 3 : Test de validité et de la reproductibilité du tapis roulant.....	92
Tableau 4 : Erreur du test de validité et de la reproductibilité du tapis roulant.....	93

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

CPG : Générateur de patron central

EMG : Électromyographie

IMC : Indice de masse corporelle

SNC : Système nerveux central

SNP : Système nerveux périphérique

SPC : Syndrome post-commotionnel

TCC : Traumatisme craniocérébral

TCCL : Traumatisme craniocérébral léger

## REMERCIEMENTS

Merci au Dr. Philippe Fait qui m'a proposé ce projet de maîtrise après avoir su mon intérêt à travailler avec lui et à élargir mes connaissances sur les commotions cérébrales. Il a su me supporter, me rassurer et me donner «la tape dans le dos » nécessaire tout au long du projet. Un des piliers importants dans ce projet est ma codirectrice de recherche, la Dre. Karine Boivin. Elle a assuré un suivi serré qui m'a permis d'avancer de manière rigoureuse. Je suis extrêmement reconnaissant de son appui et du temps qu'elle a mis dans ce projet. Merci à mon collègue, M. Nour Saadé, qui a participé à chacune des collectes de données. Merci à ceux et celles qui ont collaboré de près ou de loin à ce projet, soit M. Logananda Boodadoo, Dr. Gérald Parent, M. Guy St-Vincent, M. Bryan McKenzie, M. Vincent Gélinas et M. Yves Dubé. Mme Luce Mongrain directrice adjointe à l'Académie Les Estacades et toute son équipe qui ont cru en mon projet et m'ont fait confiance pour le recrutement des participants du groupe témoin et expérimental. Un merci sincère aux étudiants de premier cycle en kinésiologie qui, à travers un stage de formation, m'ont accompagné au laboratoire: Audrey St-Laurent, Naomi Fontaine, Marc-Olivier St-Pierre, Gabrielle Gauthier et Philippe Lacroix. J'aimerais exprimer toute la reconnaissance que j'ai envers les membres de ma famille pour leurs encouragements; vous avez été un élément très important pour sa réalisation. Finalement, j'aimerais remercier la femme avec laquelle je partage ma vie, Joany Toutant. Elle a su me supporter, m'accompagner et me conseiller

tout au long de cette maîtrise. C'est grâce à cette maîtrise que je t'ai rencontrée et à ce point, je savais que j'en sortirais gagnant, merci !

# CHAPITRE 1

## INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

### 1.1 INTRODUCTION

Partout à travers la planète, le sport est une pratique courante et mène à des évènements où des gens, des petits groupes d'individus ou une population se rassemblent pour y participer et encourager. Un sport, une équipe, un athlète peuvent être une figure à laquelle s'identifier et de développer un sentiment d'appartenance aussi fort que pour la religion ou pour la famille. C'est cet esprit sportif et l'importance que le monde accorde à cette pratique qui poussent les jeunes à la pratiquer et à se dépasser. L'intensité à son apogée, les risques lors de la pratique sportive sont augmentés : les risques de chute, les risques de contact et les risques de blessures. Il y a lieu de s'interroger sur les conséquences potentiel qu'un athlète blessé pourrait avoir s'il demeurait au jeu dû à une blessure inapparente à l'œil. Quelles sont les conséquences lorsqu'une personne prétend mieux se sentir, mais qu'aucun test ne permet de s'assurer de son parfait rétablissement et que son état laisse un doute? L'athlète est trop souvent retourné au jeu, à risque de subir une autre blessure ou d'aggraver celle déjà présente. C'est ce qui risque d'arriver à la suite d'une blessure touchant le cerveau, telle que la commotion cérébrale. Le cerveau est une agglomération de neurones et de synapses servant à la transmission d'influx nerveux. Cet organe issu du système nerveux, à l'aide de toutes ses zones définies, a un rôle majeur dans la prise de décisions et dans

l'exécution de nos actions, véritable centre des commandes de tous les mouvements volontaires (Gross, 2007). Une blessure musculo-squelettique peut être bandée, mais qu'arrive-t-il lorsque c'est le centre de contrôle qui est lésé à la suite d'un impact? Malgré le fait qu'une commotion cérébrale ne soit pas visible à l'œil nu, les atteintes sont belles et bien présentes. Depuis plus de 450 ans, le terme « commotio cerebri » (commotion cérébrale) est associé à ce type d'atteintes, qui sous la forme du verbe latin se dit *concutere* (secouer violemment) ou *concussum* (action de frapper ensemble). Ces expressions ont été introduites par le médecin français Ambroise Paré au 16<sup>e</sup> siècle (Maroon et al., 2000; Shaw, 2002). C'est cette épidémie silencieuse qui a créé une polémique dans les rangs professionnels au cours des dernières décennies puisque les impacts de la commotion cérébrale étaient sous-estimés et les athlètes mis à risque de séquelles permanentes.

La problématique reliée aux nombreuses commotions cérébrales, notamment chez les adolescents, est devenue un sujet d'actualité. Également, une propagande sur les mesures préventives est en cours, appuyée fortement par la littérature. La littérature montre l'ampleur du phénomène en termes de prévalence et aussi sur le plan des conséquences indésirables chez les personnes atteintes (McCrory et al., 2017; Zuckerman et al., 2015). De plus, le meilleur moment pour le retour au jeu d'un athlète à la suite d'une commotion cérébrale demeure une question controversée dans la littérature, faute de données probantes (McCrory et al., 2017). La présence de symptômes post-commotionnels persistants est une conséquence courante à la suite d'une commotion cérébrale, pouvant ainsi limiter de façon significative les capacités de

l'athlète (McCrary et al., 2017). Un des symptômes couramment rapportés est le déficit attentionnel. Afin de mieux comprendre les effets de ce déficit, de plus en plus de chercheurs s'intéressent à étudier le comportement des personnes ayant subi une commotion cérébrale dans un contexte où une grande capacité attentionnelle est nécessaire; soit par exemple dans des contextes de double tâche ou de tâches multiples. En laboratoire, on crée ces contextes dans l'optique de reproduire des situations d'attention divisée. Selon cette idée, notre équipe de recherche s'est intéressée à l'étude des conséquences d'une division de l'attention à la marche sur tapis roulant par le biais d'une tâche cognitive chez des adolescents ayant subi une commotion cérébrale; et cela en comparaison à un groupe témoin de jeunes, sans commotion.

L'étude faisant l'objet de ce mémoire s'intéresse plus spécifiquement à cibler des altérations fonctionnelles et résiduelles observables chez des jeunes ayant subi une commotion cérébrale dans un contexte sujet à la présence d'interférence attentionnelle. Plus spécifiquement, on cherche à documenter les effets de l'anticipation ou de l'exécution d'une double tâche dans un contexte de marche. Ainsi l'intégration d'un contexte de double ou multitâche lors de la marche serait sensible aux effets de la commotion cérébrale, considérant l'augmentation de la demande attentionnelle dans un tel contexte d'évaluation.

Une attention particulière aux paramètres de la marche est mise de l'avant afin d'en analyser certaines variables. De surcroît, l'évaluation de la confiance en l'équilibre est

aussi considérée puisqu'elle pourrait avoir une influence sur le comportement de l'athlète.

Étant plus à risque de subir une commotion cérébrale et d'avoir des symptômes persistants, les adolescents ont été sélectionnés pour prendre part à ce projet

## **1.2 PROBLÉMATIQUE**

Les enfants et les adolescents ont tendance à se rétablir plus lentement que les adultes à la suite d'une commotion cérébrale (DeMatteo et al., 2015; McCrory et al., 2013), ce qui rend le processus décisionnel difficile concernant le retour au jeu. Un retour hâtif aux activités sportives augmenterait les risques de subir toutes autres blessures, telle une autre commotion cérébrale, voire produire un syndrome du second impact, qui peut s'avérer catastrophique. Ainsi, des conséquences d'ordre supérieur pourraient survenir dues à la négligence de symptômes résiduels qui ne sont pas facilement détectables (Stovitz et al., 2017). Des approches plus efficaces en termes d'évaluation, de diagnostic et d'intervention sont urgentes afin de pallier à ce problème important. Les tests actuels utilisés en clinique, dans les domaines de la neurologie et de la neuropsychologie, ne sont pas assez discriminants et sensibles pour dépister les symptômes et les déficits plus difficilement apparents aux niveaux cognitif et moteur. Or, ces effets et symptômes persistants commencent à être davantage documentés (Fait et al., 2013). Une batterie de mesures spécifiques et complémentaires serait pertinente afin de dépister les signes et les symptômes résiduels chez la population pédiatrique, notamment. Les possibilités d'avoir un meilleur suivi des jeunes ayant subi une

commotion cérébrale seraient favorisées ainsi que de s'assurer d'un retour plus sécuritaire aux activités significatives pour eux. Le présent projet vise à contribuer à l'avancement des connaissances reliées à cette problématique et leurs applications éventuelles en clinique. En effet, l'évaluation des cas de commotion cérébrale devrait intégrer non seulement les systèmes moteurs (par exemple : équilibre dynamique, mouvements adaptés) et cognitifs (par exemple : planification, attention, mémoire, temps de réaction), mais aussi une combinaison de ces deux éléments (soit une dimension cognitivomotrice). Par conséquent, l'évaluation de l'impact des commotions cérébrales réside dans une évaluation clinique innovante qui intègre les dimensions cognitives et motrices dans un contexte de double tâche ou multitâche qui requiert une division de l'attention.

## **CHAPITRE 2**

### **ÉTAT DES CONNAISSANCES**

Afin de mieux comprendre la portée de ce projet de recherche, l'état des connaissances présenté ci-dessous dresse une revue des sujets abordés dans le cadre de cette étude. Ce chapitre mettra abordera le traumatisme craniocérébral (TCC) à différents niveaux, notamment la commotion cérébrale chez les enfants et les adolescents. Les différents aspects intégrés dans un contexte de double tâche (cognitif ou moteur) seront décomposés afin de mieux comprendre l'effet de ce type de condition.

#### **2.1 TRAUMATISME CRANIOCÉRÉBRAL (TCC)**

Le TCC se définit comme une blessure qui touche la structure et/ou un désordre physiologique de la fonction cérébrale, induite à la suite d'un traumatisme résultant d'une force externe (accélération, décélération, force rotatoire, etc.) (Defense, 2009). Le TCC est diagnostiqué par l'apparition d'au moins un des signes/symptômes suivants :

1. Altération de l'état de conscience pouvant aller jusqu'à la perte de conscience ;
2. Perte de mémoire des événements immédiatement avant ou après l'évènement ;

3. Altération de l'état mental au moment de l'évènement (confusion, désorientation, étourdissements, etc.) ;
4. Déficits neurologiques (faiblesse, perte d'équilibre, changements dans la vision, praxie, parésie/hémiplégie, paresthésie, aphasie, etc.) pouvant être transitoires ;  
et,
5. Lésion intracrânienne.

Le TCC est un terme général qui englobe les trois niveaux de sévérité de la blessure cérébrale, soit : le traumatisme craniocérébral léger (TCCL), le traumatisme craniocérébral modéré et le traumatisme craniocérébral grave. Lorsqu'un accident engendrant un traumatisme à la tête se produit, un diagnostic se doit d'être émis par un professionnel de la santé afin de déterminer la gravité de la blessure et le risque de complications. Actuellement, l'outil pour grader la sévérité du TCC et pour objectiver les altérations de conscience est l'échelle de coma de Glasgow (GCS) (Teasdale & Jennett, 1974, 1976). Cette échelle permet d'estimer la sévérité du traumatisme selon le score obtenu. La GCS est échelonné sur un score de 3 à 15, informant l'évaluateur sur la sévérité du traumatisme. Une personne évaluée recevant un score de 3, le score minimal, se voit dans un coma profond avec un haut risque pour sa vie. Un score situé entre 3 et 8 est considéré comme un TCC grave. Lorsque le score se situe entre 8 et 12, la sévérité du trauma est diminuée et par conséquent, le TCC est considéré comme modéré. Les traumatismes graves et modérés peuvent impliquer des fractures du crâne, une

hémorragie épidurale ou sous-durale, de l'œdème cérébral ou des dommages aux tissus nerveux (Teasdale & Jennett, 1976) . Un score se situant entre 13 et 15 indique un TCCL (Teasdale & Jennett, 1976). Chaque des personnes ayant subi ce type de traumatisme peut se voir exposée à une multitude de symptômes qui peuvent faire surface de différentes façons. Il est maintenant connu que la sévérité des symptômes associés peut ne pas être parfaitement corrélée à la sévérité telle que définie par le GCS (Network, 2013). La pertinence de l'échelle de coma de Glasgow ne fait donc pas l'unanimité et ne serait pas suffisamment sensible pour différencier les traumas plus légers (Kraus, McArthur, & Silberman, 1994).

## **2.2 TRAUMATISME CRANIOCÉRÉBRAL LÉGER (TCCL)**

Le TCCL est considéré comme le niveau de gravité des TCC qui engendre le moins de dommage structurel au cerveau. Gadoury et ses collaborateurs proposent d'utiliser une définition élaborée qui provient du « Task force » de l'Organisation mondiale de la Santé (Gadoury, 2001). À cet effet, deux conditions doivent être remplies. La première consiste en l'objectivation d'au moins un des éléments suivants:

- Une période d'altération de l'état de conscience (confusion ou désorientation) ;
- Une perte de conscience de moins de 30 minutes ;
- Une amnésie post-traumatique d'une durée de moins de 24 heures ;

- Ou tout autre signe neurologique transitoire comme un signe neurologique localisé, une convulsion ou une lésion intracrânienne ne nécessitant aucune intervention chirurgicale.

La seconde condition consiste en l'obtention, lors de l'évaluation à l'urgence, d'un résultat variant de 13 à 15 sur l'Échelle de coma de Glasgow, soit 30 minutes ou plus après l'évènement traumatique.

Selon cette définition, les manifestations d'un TCCL ne doivent pas être dues à une intoxication à l'alcool, aux drogues illicites ou à la médication, ni être causées par d'autres blessures ou le traitement des autres blessures (lésions systémiques et faciales, intubation), ni résulter d'autres problèmes (comme un traumatisme psychologique, une barrière linguistique ou toute autre pathologie coexistante chez l'individu), ni être causées par un traumatisme craniocérébral invasif (au niveau de la boîte crânienne) (Gadoury, 2001).

Le terme TCCL, qui est caractérisé comme étant le niveau de gravité du TCC le moins grave, est souvent associé à un traumatisme subi à la suite d'un accident de la route. Le même type de traumatisme peut se produire aussi dans un contexte de pratique sportive. Dans ce cas-ci le TCCL est communément appelé : commotion cérébrale. Ces deux appellations ne sont pas réellement distinctes sur le plan médical mais plutôt liées au contexte dans lequel le trauma a eu lieu, selon le mécanisme de la blessure.

Dans le cadre de ce mémoire, l'appellation commotion cérébrale a été retenue et est utilisée, pour les adolescents recrutés en milieu sportif. La section suivante présente la commotion cérébrale du point de vue de la communauté sportive.

### **2.3 COMMOTION CÉRÉBRALE**

La commotion cérébrale représente la plus grande proportion des diagnostics de TCC, soit environ 75 % à 88 % (Gadoury, 2001; Ghaffar, McCullagh, Ouchterlony, & Feinstein, 2006; van Balen, Mulder, & Keyser, 1996). Le délai de récupération est variable et peut passer d'une dizaine de jours à plusieurs mois avec des limitations physiques, cognitives ou psychosociales, partielles ou totales pouvant en résulter (Gadoury, 2001; McCrory et al., 2017).

Selon le 5<sup>e</sup> consensus international de Berlin portant sur les commotions cérébrales ayant eu lieu en contexte de pratique sportive (McCrory et al., 2017), des critères ont été ciblés afin de mieux définir ce type de traumatisme :

1. Peut être causé par un coup direct à la tête, au visage, au cou ou à un endroit quelconque du corps humain où une force impulsive est transmise à la tête ;
2. Composé de l'apparition rapide d'une anomalie de la fonction neurologique qui se résorbe spontanément. Toutefois, dans certains cas, les signes et symptômes évoluent sur une période de quelques minutes à quelques heures ;
3. Se traduit généralement par des changements neuropathologiques, les symptômes cliniques aigus se reflètent davantage par une perturbation fonctionnelle plutôt

qu'une lésion structurelle. Des études montrent qu'aucune anomalie n'a été observée sur les résultats des tests de neuro-imagerie standard ;

4. Les conséquences d'une commotion cérébrale se réfèrent à un ensemble de symptômes de différentes intensités pouvant impliquer, ou pas, une perte de conscience. La résolution de ces symptômes suit généralement une séquence spécifique. Par ailleurs, il est possible que la durée des symptômes post-commotionnels se prolonge dans le temps.

Une méta-analyse montre que les TCCL survenant dans un contexte sportif ou non avaient des conséquences très similaires (Belanger & Vanderploeg, 2005). En effet, les commotions cérébrales peuvent entraîner des microdéchirures de fibres formant des régions distinctes du cerveau et certaines molécules pourraient agir à titre de biomarqueurs ayant la capacité d'être indicatrices de la dégradation cellulaire du tissu cérébral atteint (Henry, Tremblay, Tremblay, et al., 2011; Henry, Tremblay, Leclerc, et al., 2011). Conséquemment à la commotion cérébrale, une cascade d'évènements neuro-métaboliques peut survenir (Giza & Hovda, 2001).

Les effets de cette chaîne de réactions chimiques au niveau cérébral demandent un apport supplémentaire en glucose afin de produire une plus grande quantité d'énergie sous forme d'adénosine triphosphate (ATP), par la glycolyse. De plus, une augmentation de lactate est présente due au métabolisme du glucose qui est accentué alors que le métabolisme oxydatif est quant à lui réduit (Giza & Hovda, 2001). La présence de lactate en grande quantité pourrait être un élément causal des dysfonctions neuronales

(Gardiner, Smith, Kågström, Shohami, & Siesjö, 1982; Giza & Hovda, 2001; Van Houten & Friede, 1961). Le flux cérébral sanguin est initialement diminué à la suite de l'impact à la tête, entraînant alors un apport énergétique moindre. La réserve en glucose par rapport à la demande est insuffisante et amorcerait une crise énergétique.

L'état de déséquilibre ainsi créé, pourrait être une des causes de la vulnérabilité à subir un deuxième impact (Vagnozzi et coll., 2008). Un syndrome du second impact pourrait éventuellement se produire. Ce phénomène touchant les adolescents est peu commun (Cantu, 2016; McCrory, Davis, & Makdissi, 2012; Solomon G, 2006) et se définit comme étant un second impact touchant une personne ayant préalablement subi un TCCL non résorbé totalement. Une réponse cérébrale immédiate où le tronc cérébral se retrouve en situation d'échec serait engendrée et induirait de graves conséquences irréversibles telles qu'un affaiblissement neurologique important, voire la mort. Considérant cette chaîne d'événements indésirables, l'impact que peut avoir le TCCL ne doit pas être sous-estimé. Un suivi rigoureux est nécessaire afin de minimiser les effets dans le temps du premier impact.

Actuellement les conséquences et le temps de récupération nécessaire à partir des symptômes initiaux post-commotionnel sont impossible à prédire. Le niveau de gravité de la commotion cérébrale peut seulement être déterminé de façon rétrospective, après que tous les symptômes se soient résorbés et à l'aide des résultats d'examen neurologiques et neuropsychologiques. Par ailleurs, plusieurs facteurs sont considérés comme étant des prédicteurs d'une récupération lente comme la sévérité des symptômes

lors des premiers jours post-commotion. De plus, les enfants, adolescents et jeunes adultes avec des problèmes de santé mentale ou des problèmes de migraines sont plus à risque de voir leurs symptômes perdurer au-delà d'un mois (McCrorry et al., 2017).

## **2.4 DONNÉES ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET COMMOTION**

### **CÉRÉBRALE**

Lors des dernières décennies, le nombre de commotions cérébrales rapportées n'a cessé d'augmenter et a ainsi été considéré comme un problème de santé publique majeur (Cassidy et al., 2004; Thurman & Guerrero, 1999). L'incidence au Canada est de 629 par 100 000 habitants chez les jeunes de 10 à 14 ans et de 814 par 100 000 habitants chez ceux âgés entre 15 et 19 ans (Langlois, 2004). Des données plus récentes ont décrit les fréquences et les caractéristiques sociodémographiques des visites au service d'urgence national américain pour une commotion cérébrale entre 2006 et 2012 (Cancelliere, Coronado, Taylor, & Xu, 2017). Les visites sont passées de 569,4 en 2002 à 807,9 par 100 000 habitants en 2012. L'un des taux les plus élevés se retrouvait chez les hommes âgés entre 15 et 24 ans. Ce même problème a été illustré par une étude américaine récente. Zhang et collaborateurs (2016) ont analysé une base de données contenant les informations des réclamations d'une compagnie d'assurance privée aux États-Unis dans le domaine de la santé et qui couvrait plus de 8,8 millions d'habitants, âgés entre 0 et 65 ans entre 2007 et 2014. Durant cette période, près de 44 000 personnes ont reçu un diagnostic de commotion cérébrale, dont 55 % étaient des hommes. Cette

statistique est 1,5 fois plus élevée chez l'homme que chez la femme. Grâce à une analyse par groupe d'âge, ces chercheurs ont observé qu'un groupe d'adolescents âgés entre 10 et 19 ans était celui le plus touché, soit de 32 % de l'ensemble des commotions cérébrales rapportées dans l'échantillon global à l'étude. L'incidence la plus élevée a été notée chez les adolescents âgés entre 15 et 19 ans, soit 16,5 cas sur 1000 patients, suivi d'un groupe de jeunes âgés entre 10 et 14 ans, ayant une incidence de 10,5 cas sur 1000 patients (Zhang, Sing, Rugg, Feeley, & Senter, 2016).

Aux États-Unis, jusqu'à 30 millions de jeunes font partie d'une organisation sportive (Howell, Osternig, & Chou, 2013). Lorsque les jeunes atteignent l'école secondaire, plus de la moitié des sportifs (53 %) ont déjà subi une commotion cérébrale et plus du tiers (36 %) ont subi un épisode multiple au niveau collégial. La commotion cérébrale est considérée comme le type de lésion cérébrale le plus commun (Corrigan, 2001). Par ailleurs, toutes les commotions cérébrales ne peuvent être comptabilisées systématiquement car toutes les personnes ayant subi un traumatisme ne consultent pas un médecin. Certains se dirigent vers d'autres professionnels de la santé et d'autres ne consulteront pas malgré les risques encourus. La commotion cérébrale est souvent sous-diagnostiquée et les conséquences engendrées sont fréquemment sous-estimées. Bien que considérée comme étant bénigne et transitoire dans 80-90 % des cas (car résolution des symptômes en moyenne entre 7 à 10 jours) (Marcotte, 2005), la résorption semble être plus longue chez les enfants et adolescents (McCrorry et al., 2017). En effets, des déficits cognitifs et moteurs sont toujours présents chez des adolescents ayant subi une

commotion cérébrale comparés à des participants sains, pouvant aller jusqu'à deux mois post-traumatisme (Howell et al., 2013; Howell, Osternig, & Chou, 2014, 2015). Considérant la haute prévalence et la persistance de ses effets indésirables, surtout chez les adolescents, la recherche s'avère être une voie importante pour une meilleure prise en charge de ce type de traumatisme.

## **2.5 SIGNES ET SYMPTÔMES DE LA COMMOTION CÉRÉBRALE**

Les signes et symptômes à la suite d'une commotion cérébrale se présentent de différentes façons pour chacune d'entre elles. Néanmoins, il est possible de les séparer selon quatre catégories distinctes, soit : (1) physique, (2) cognitive (3) émotionnelle et (4) troubles du sommeil (Morin, Langevin, & Fait, 2016). Dans certains cas, la personne ayant subi la commotion cérébrale peut ressentir un seul signe ou symptôme et dans d'autres cas, plusieurs feront surface. Dans le cas où un seul signe ou symptôme serait présent, celui-ci serait de nature cognitive. Les symptômes peuvent se présenter selon différents niveaux d'intensité et/ou perdurer sur une plus longue période de temps chez certaines personnes. Le tableau 1 montre les principaux signes et symptômes pouvant survenir à la suite d'une commotion cérébrale (Hanson, Stracciolini, Mannix, & Meehan, 2014; Hynes & Dickey, 2006; Marshall, 2012; McCrory et al., 2017; Scorza, Raleigh, & O'Connor, 2012).

Tableau 1 :

Principaux signes et symptômes communs à la suite d'une commotion cérébrale  
(Hanson, Stracciolini, Mannix, & Meehan, 2014; Hynes & Dickey, 2006; Marshall, 2012; McCrory et al., 2017; Scorza, Raleigh, & O'Connor, 2012)

Physique	Cognitive	Émotionnelle	Troubles du sommeil
• Mal de tête	• Confusion	• Variabilité émotionnelle	• Difficulté à s'endormir
• Vertiges	• Amnésie rétrograde	• Irritabilité	• Diminution du sommeil
• Perturbation de l'équilibre	• Amnésie antérograde	• Fatigue	• Augmentation du sommeil
• Nausées	• Perte de conscience	• Anxiété	• Somnolence
• Vomissement	• Désorientation	• Tristesse	
• Vision floue	• Étourdissement	• Nervosité	
• Fatigue	• Se sentir dans le brouillard	• Dépression	
• Sensibilité à la lumière	• Regard vide	• Changement de personnalité	
• Sensibilité au bruit	• Difficulté de concentration		
	• Réponse verbale lente		

- Acouphène
- Réponse moteur lente
- Convulsions
- Difficulté à l'accès lexical
- Engourdissement
- Discours incohérent
- Picotement
- Somnolence excessive
- Dysphagie

Les symptômes ont tendance à perdurer sur une période de 10 à 14 jours. Chez 11 à 17 % des adolescents, les symptômes perdurent au-delà de cette période (Barlow et al., 2010; Gagnon, Galli, Friedman, Grilli, & Iverson, 2009; McCrory et al., 2017). Lorsqu'un jeune ayant subi une commotion cérébrale ressent toujours une différence en comparaison avec son état pré-traumatisme, due à une persistance des symptômes jusqu'à quatre semaines post-impact, c'est un syndrome post-commotionnel (SPC) (CIM-10-CA, 2012) (Boake, 2005). Ce syndrome implique aussi la présence d'au moins trois symptômes se situant dans au moins deux différentes catégories (Tableau 2).

Tableau 2:

Critères de diagnostic du syndrome post-commotionnel

(Guidelines for Mild Traumatic Brain Injury and Persistent Symptoms. Ontario  
Neurotrauma Foundation)

Critères de diagnostic du syndrome post-commotionnel

---

- A. Avoir subi un traumatisme crânien impliquant une perte de conscience précédant l'apparition des symptômes d'un maximum de quatre semaines.
- B. Avoir des symptômes dans trois catégories ou plus, parmi les catégories de symptômes suivants :
  - Mal de tête, vertiges, malaise, fatigue, intolérance au bruit

- 
- Irritabilité, dépression, anxiété, changement émotionnel
  - Difficulté de concentration, mémoire ou difficulté intellectuelle sans preuve neuropsychologique de dépréciation marquée
  - Insomnie
  - Tolérance réduite à l'alcool
  - Préoccupation accrue des symptômes et crainte de lésions cérébrales avec comportement hypocondriaque et l'adoption du rôle de malade.

## **2.6 COMMOTION CÉRÉBRALE CHEZ LES ENFANTS ET LES ADOLESCENTS**

Les adolescents sont parmi les populations les plus touchées par les commotions cérébrales (Carson et al., 2014). Selon une revue systématique de la littérature (Abrahams, Fie, Patricios, Posthumus, & September, 2014), une hausse du nombre de commotions cérébrales dans les sports est marquée chez les adolescents âgés de 10 à 14 ans et de 15 à 18 ans (Abrahams et al., 2014). Il est précisé dans le consensus de Berlin (2017) que les adolescents atteints verront leur période de récupération plus longue à la suite d'une commotion cérébrale comparativement aux adultes (McCrary et al., 2017). Plusieurs études tentent d'expliquer par le biais de certaines hypothèses le haut potentiel chez ce type de population à subir une commotion cérébrale. À titre d'hypothèse, un risque plus élevé de blessure par cisaillement pourrait être dû à une immaturité du

système nerveux central associée à une myélinisation incomplète et à une élasticité moins développée du cerveau. (Ommaya, Goldsmith, & Thibault, 2002). Le ratio corps-tête serait différent de celui des adultes (McKeever & Schatz, 2003). Une différence au niveau du volume sanguin est aussi présente; la boîte crânienne des adolescents est plus mince que celle des adultes et l'espace sous-arachnoïdien est plus grand chez les adolescents pouvant ainsi permettre un mouvement de plus ample amplitude du cerveau dans la boîte crânienne (Buzzini & Guskiewicz, 2006). De plus, le développement du cou ainsi que celui de la musculature des épaules, étant moins important en comparaison à celui d'une population adulte, contribuerait à dissiper l'énergie de la tête au corps de manière moins efficace (Shaw, 2002). Les gains de poids et de force significatifs à l'adolescence pourraient suggérer que la force acquise par ces jeunes soit parfois sous-estimée et son déploiement mal contrôlée (Buzzini & Guskiewicz, 2006; Eckner, Oh, Joshi, Richardson, & Ashton-Miller, 2014). Ainsi, la vulnérabilité des adolescents à subir une commotion cérébrale pourrait être mieux comprise.

## **2.7 LOCOMOTION**

La marche est un mode de déplacement naturel considéré comme le moyen de transport actif principal des êtres humains. Le contrôle de la locomotion est géré par trois mécanismes distincts qui travaillent en synergie soit : le générateur de patron central (CPG), le contrôle périphérique et le contrôle supraspinal (Hooper, 2000; Shik & Orlovsky, 1976). Le CPG est défini comme une agglomération de neurones du système

nerveux spinal ayant comme fonction commune de générer une activité motrice organisée telle que : les patrons locomoteurs de base et la rythmicité de la marche. L'obtention d'un mouvement coordonné est possible grâce à un ajustement effectué en fonction de l'information reçue en provenance du système nerveux périphérique (SNP) et celle transmise au système nerveux central (SNC). Le trajet inverse est tout aussi impliqué, soit du SNC au SNP, dans le but d'exécuter le mouvement désiré. Les informations reçues par le SNP proviennent de nombreux récepteurs sensitifs, regroupés dans le système somatosensoriel. Le système vestibulaire (contribue à la sensation de mouvement et à l'équilibre), localisé au niveau de l'oreille interne, et les informations issues du système somatosensoriel (système qui collecte toutes les informations sensorielles provenant du corps) sont impliquées dans le contrôle périphérique de la locomotion. Par ailleurs, les informations reçues par le SNP sont davantage reliées au contrôle réactif de la marche (Hooper, 2000; Shik & Orlovsky, 1976). Le contrôle réactif fait référence au contrôle supraspinal qui engendrera une réponse réflexe pour ajuster les patrons locomoteurs lors de chacune des phases du cycle de marche afin de mieux réagir à diverses petites perturbations externes (Bradford McFadyen, 1997; Zehr & Stein, 1999). Le système visuel, quant à lui, se voit proactif puisqu'il fournit une information sur la situation environnante actuelle et permet d'anticiper les perturbations. Les informations captées par le système visuel permettent d'informer le SNC si le patron de marche utilisé est approprié face à l'environnement. Le SNC a le pouvoir d'ajuster le patron locomoteur de base en modifiant différents paramètres afin d'adapter la réaction des membres inférieurs; par exemple en modulant l'amplitude angulaire

intersegmentaire. Un modèle locomoteur adapté à la situation environnante est ainsi adopté (Maclellan & McFadyen, 2010). Ces mécanismes plutôt élaborés régissent le pas de marche au quotidien sans que nous en ayons conscience, considérant notre niveau de pratique élevé et une absence d'atteinte aux systèmes impliqués. Marcher dans un contexte nouveau montre à percevoir que cette activité requiert une coordination précise et élaborée.

### **2.7.1 Marche sur tapis roulant et marche au sol**

La marche est souvent utilisée en réadaptation afin d'entraîner les capacités fonctionnelles d'une personne tout en lui permettant de mieux subvenir à ses besoins au quotidien. Pour un professionnel de la santé, l'espace se voit souvent restreint pour l'observation ou l'analyse de la marche. L'utilisation d'un tapis roulant est courante et permet, notamment, de surpasser cet inconvénient. Tout en étant un outil avantageux et pratique. Au besoin, le tapis roulant permet de contrôler de manière précise la vitesse de marche désirée, de varier la pente, de permettre à la personne de prendre support ou d'alléger son poids et le professionnel de la santé en assistance se retrouve dans une position confortable pour intervenir auprès du patient. Dans certains cas, l'ajout d'un système avec sangle permettant de soulever une partie du poids de la personne et de faciliter la tâche effectuée pour être en mesure, en cours de rééducation, d'augmenter la difficulté de manière progressive (Duncan et al., 2011).

Malgré ces avantages, une question se pose. Quelles sont les différences entre la marche sur tapis roulant et celle au sol ? Plusieurs chercheurs se sont penchés sur cette question dans le but de mieux saisir ce qui est transférable d'un contexte de marche à l'autre. L'analyse de la marche sur tapis roulant par rapport à celle au sol a été réalisée notamment par Lee et ses collaborateurs (Lee & Hidler, 2008). Ces chercheurs ont utilisé un tapis roulant intégré dans le sol. Ainsi, lors des essais de marche au sol ou sur tapis roulant, les participants marchaient sur la même surface. Le tapis roulant était aussi instrumenté d'une plaque de force afin d'enregistrer la cinétique du mouvement. Selon les résultats de cette étude, la durée de l'extension autour du genou lors de la marche au sol s'avère significativement plus longue que celle observée sur tapis roulant. Outre cette différence, de manière générale, la cinématique articulaire aux niveaux des hanches, genoux et chevilles, ainsi que les forces de réaction au sol, étaient semblables d'une condition à l'autre. En ce qui concerne l'activité musculaire, une analyse de l'électromyographie a été effectuée à partir du niveau d'activité des muscles des membres inférieurs. L'activation du tibial antérieur, principal muscle servant à la dorsiflexion, s'avérait significativement moindre à la marche sur tapis roulant comparativement à celle au sol. La même conclusion est ressortie grâce à l'analyse du triceps sural, plus précisément, des gastrocnémiens. À l'inverse, lors du début et de la fin de l'élan, le droit fémoral serait notablement plus activé sur le tapis roulant. De plus, la force de réaction verticale était plus élevée sur tapis roulant lors d'une marche lente et/ou rapide que lors de la marche au sol (White, Yack, Tucker, & Lin, 1998).

Malgré ces nuances rapportées par différents chercheurs, est-ce que la marche au sol peut être comparable à la marche sur tapis roulant ? Une des réponses est qu'un temps de familiarisation, soit de 6 minutes de marche sur tapis roulant, pourrait se voir suffisant pour diminuer les différences entre la marche au sol et la marche sur tapis roulant (Matsas, Taylor, & McBurney, 2000). L'argument qui semblerait expliquer les plus grandes différences entre la condition de marche au sol par comparaison avec celle sur tapis roulant serait au niveau de la variation du flux optique, c'est-à-dire le mouvement des objets environnants par rapport au participant en mouvement (Warren, Kay, Zosh, Duchon, & Sahuc, 2001). Le flux optique pourrait ainsi modifier les stratégies du contrôle de l'équilibre à la marche. De manière globale, plusieurs différences ont été observées au niveau de l'activation musculaire, des moments de force ou de la cinématique articulaire qui ont pu être rapportées par diverses études. Lee et ses collaborateurs suggèrent, de manière générale, que les participants réussissent tout de même à maintenir une cinématique de leurs membres inférieurs et de leurs paramètres de marche spatiotemporels sur tapis roulant qui se rapproche de près d'un patron de marche au sol. L'utilisation du tapis roulant est justifiée en clinique puisque la marche elle-même, en dehors d'un laboratoire, est altérée par divers obstacles, en général, ce qui oblige à modifier les patrons de marche pour s'adapter (Lee & Hidler, 2008). Ainsi, c'est un outil utile dans le cadre de protocole « test-retest » puisque le tapis roulant permet d'évaluer le marcheur dans un contexte de marche identique.

## 2.8 UTILISATION D'UN OBSTACLE

Chaque être humain, aussitôt en mouvement, devra tôt ou tard faire face à divers obstacles à contourner ou enjamber. Que ce soit pour une personne saine, avec une blessure ou un handicap, la passation d'un obstacle à la marche requiert la modification du cycle de marche et l'utilisation d'une approche optimale pour bien faire face à la perturbation physique sans compromettre sa sécurité et son équilibre. Une fois l'obstacle identifié, celui-ci est rapidement analysé. Le cerveau humain collecte le plus d'informations possibles sur la faisabilité (ex : sa hauteur, sa largeur, sa profondeur, la couleur, la texture, etc.) dans le but d'imaginer l'action et de préparer une réponse en prévision de l'exécution et des actions potentielles (Jeannerod, 2001). C'est grâce à ces informations que le cerveau envoie les afférences nécessaires pour l'ajustement approprié du patron locomoteur afin de réagir de manière efficace et d'enjamber ou de contourner l'obstacle en évitant de s'accrocher dans celui-ci. De ce fait, retrouver une démarche confortable en minimisant le risque de subir une blessure est possible. En recherche, un obstacle peut être présenté dans un contexte expérimental comme moyen de perturbation afin d'étudier la réponse adaptative des individus, soit grâce à des analyses de nature biomécanique ou autres. Dans le domaine sportif, l'obstacle est souvent utilisé afin de représenter une perturbation pouvant se produire dans une situation de jeu : un joueur qui se dirige sur un adversaire, une pièce d'équipement au sol ou une zone à respecter lors des déplacements, etc. L'obstacle peut être utilisé de deux manières : le participant peut avoir à le contourner ou à l'enjamber.

### **2.8.1 Obstacle à enjamber**

Au quotidien un obstacle doit être souvent enjambé qui mettant l'équilibre à l'épreuve sans que ce soit nécessairement volontaire. Martini et collaborateurs ont établi un protocole qui consistait à marcher tout en enjambant un obstacle auprès des 28 participants ayant subi une commotion cérébrale et des 40 participants du groupe témoin (Martini et al., 2011). Un couloir d'une distance de 8,3 mètres a été utilisé pour l'évaluation des participants. Dans le protocole, la tâche d'enjambement comportait deux obstacles de 0,295 mètre de hauteur placés à un mètre d'intervalle. Le moment passé sur une seule jambe lors des essais avec enjambement des obstacles était significativement plus court chez les personnes ayant eu une commotion cérébrale dans le passé en comparaison au groupe témoin. Le pourcentage de temps passé en double appui était, par le fait même, plus élevé. Selon Martini et collaborateurs, le fait de passer plus de temps en double appui pourrait montrer l'utilisation d'un patron de marche plus conservateur. La vitesse de marche se voyait plus lente dans le groupe expérimental, ce qui ajoute un argument au fait que les gens commotionnés adopteraient un patron de marche plus prudent. Par ailleurs, malgré les différences dans les patrons de marche entre les deux groupes, ceux-ci ont réussi à réaliser la tâche d'enjambement à la marche, sans aucune différence de performance. Ces informations recueillies pourraient donner l'idée que les participants ayant subi une commotion tentent possiblement de diminuer les risques de subir une autre blessure. Catena et ses collaborateurs ont observé, dans le cadre d'une étude, des effets sur l'équilibre lors d'un enjambement d'obstacle (Catena, van Donkelaar, & Chou, 2009). Ces observations ont été constatées chez des participants

commotionnés. Les participants devaient marcher sur une certaine distance à une vitesse de marche confortable. Le couloir de marche était muni d'une plaque de force et de deux obstacles à une hauteur de 10 % de la grandeur du participant. Le balancement du centre de masse en médio-latéral était moins prononcé chez le groupe expérimental. Cela peut être considéré comme une marche démontrant une adaptation plus conservatrice. Sur la même lignée, Catena et ses collaborateurs se sont questionnés davantage sur l'enjambement d'obstacles. Les participants du groupe expérimental avaient tendance à s'accrocher dans l'obstacle comparativement aux personnes du groupe témoin. Un total de 13 contacts avec l'obstacle chez le groupe expérimental a été observé sur 574 enjambements comparativement à un seul contact chez le groupe témoin sur 555 enjambements (Catena, van Donkelaar, Halterman, & Chou, 2009). La hauteur de dégagement (distance entre le pied du participant et le centre de l'obstacle) lors de l'enjambement de l'obstacle avait tendance à être modifiée chez les sujets commotionnés. Cette tendance laisse entrevoir qu'il existe une atteinte supérieure affectant l'orientation spatiale. Les données montrent que l'effet d'une atteinte à l'orientation spatiale est inversement proportionnel à l'aire de dégagement (Catena, van Donkelaar, Halterman, et al., 2009). Cette corrélation avait tendance à diminuer dans le temps, soit à travers les 28 jours post-impact. Les participants du groupe expérimental qui ne montraient pas d'atteinte au niveau de l'orientation spatiale avaient tendance à avoir une hauteur de dégagement plus importante. À l'opposé, aucun résultat significatif n'a été observé à ce niveau chez le groupe témoin. Le groupe expérimental a également démontré une hauteur de dégagement plus variable lors de l'enjambement. Ce résultat

laisse croire que les participants commotionnés accordent une plus grande attention à l'obstacle, soit une demande attentionnelle augmentée qui pourrait engendrer une inconstance dans les réactions des participants avec une commotion cérébrale. De plus, l'anticipation est une composante importante dans la détection et la correction d'une erreur potentielle lorsqu'une personne fait face à une perturbation (Schmidt, 1988; Schmidt, 1975). Cet aspect nécessite davantage de recherches pour confirmer ces hypothèses et elles seront abordées dans l'étude faisant l'objet de ce mémoire (Catena, van Donkelaar, Halterman, et al., 2009).

### **2.8.2 Obstacle sur tapis roulant**

Sparrow et ses collaborateurs (2006) ont mis en place un protocole de marche sur un tapis roulant afin d'étudier la demande attentionnelle lors de l'exécution d'une tâche cognitive, soit du temps de réaction (contexte de double tâche). La tâche cognitive consistait à appuyer sur un bouton dès l'apparition d'un stimulus visuel en position immobile et lors d'une marche en continu (Sparrow, Begg, & Parker, 2006, 2008). En comparant les résultats d'un groupe de jeunes adultes (20-32 ans) à ceux d'un groupe de personnes âgées (64-78 ans), les temps de réaction étaient significativement plus rapides pour les deux conditions chez le groupe des jeunes adultes. Ce résultat fait ressortir l'effet de l'âge sur la performance à accomplir une tâche de réaction en contexte de simple et de double tâche. Pour les deux groupes, les temps de réaction étaient plus lents lors de la marche sur tapis roulant (soit en contexte de double tâche) que lorsque la tâche cognitive était réalisée en position neutre (soit en condition de simple tâche). Cette

dernière observation met en lumière le fait que la marche sur tapis roulant requiert une demande attentionnelle plus élevée que le fait de maintenir une posture debout, en position immobile. Comme la tâche cognitive est celle qui est secondaire, sa performance se voit diminuée dans un contexte où l'attention est divisée. Le développement d'un protocole de recherche avec enjambements d'obstacle sur tapis roulant a été expérimenté par plusieurs chercheurs dont Van Hedel et ses collaborateurs (2002). Ces derniers ont développé un dispositif permettant le défilement d'une tige dynamique à enjamber sur tapis roulant. Leur étude compte deux groupes de 12 personnes soumis à trois conditions expérimentales distinctes. Pour le premier groupe, les conditions se présentaient comme suit : 1) 100 enjambements à l'aide du membre inférieur droit, 2) 100 enjambements à l'aide du membre inférieur gauche et 3) 100 enjambements à nouveau à l'aide du membre inférieur gauche. Le second groupe effectuait les mêmes conditions mais le membre inférieur utilisé pour l'enjambement lors des deux premières conditions était celui de gauche et à l'inverse, celui de droite pour la troisième condition. Les deux premières conditions étaient identiques dans le but de conditionner le participant à enjamber avec le membre dominant. Selon les résultats obtenus, l'adaptation la plus importante a été notée lors de la première condition, en comparaison avec les deux autres conditions. L'adaptation à l'enjambement de l'obstacle s'illustre par une augmentation significative de l'amplitude angulaire autour du genou en flexion/extension et par l'activité musculaire du droit fémoral. Ainsi, la hauteur de dégagement lors de la première condition était plus grande en comparaison avec les conditions subséquentes. Van Hedel et ses collaborateurs ont expliqué leurs

résultats en dénotant qu'un effet de familiarisation a pris place et a eu un impact significatif sur les deuxième et troisième conditions et cela, malgré le fait que le pied controlatéral enjambait l'obstacle (van Hedel, Biedermann, Erni, & Dietz, 2002). Les résultats de cette étude montrent l'importance des effets d'adaptation lors d'enjambements d'un obstacle. Ainsi, l'essai où la perturbation peut réellement être considérée comme ayant un plein potentiel « perturbateur » est le premier enjambement, puisque cette tâche n'a pas encore été expérimentée par le marcheur. Dans la création d'un protocole expérimental de double tâche, il apparaît pertinent d'étudier le comportement de jeunes commotionnés dans un contexte où l'enjambement d'un obstacle dynamique est une expérience nouvelle pour eux – soit sans familiarisation préalable. Aussi, un contexte de double tâche à la marche sur tapis roulant peut être induit par la réalisation en concomitance avec la marche d'une tâche cognitive. C'est ce paradigme qui sera abordé dans l'étude présentée, le tout en intégrant l'anticipation qui est un aspect important dans la sélection des actions volontaires.

## **2.9 SPHÈRE COGNITIVE**

### **2.9.1 Attention**

L'attention se caractérise comme étant la capacité d'un individu à sélectionner, traiter et organiser l'information (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Cette capacité présente une limite, qui est propre à chaque personne. Elle permet la réalisation de diverses tâches en simultané nécessitant l'utilisation d'une portion de cette capacité

attentionnelle. Le but étant de faire une sélection de l'information reçue afin de réagir le plus efficacement possible sans avoir une surcharge d'information sensorielle. Une attention peut être accordée à deux tâches en simultané où l'attention sera divisée en se séparant ou en se déplaçant d'une tâche à l'autre très rapidement afin de traiter le plus d'informations possibles en parallèle (Hahn et al., 2008). Lorsque plusieurs tâches sont effectuées en concomitance et que la demande attentionnelle dépasse la capacité de l'individu, la performance déclinera à une ou l'autre des tâches; ou bien aux deux tâches. Les principes d'interférence dans des tâches réalisées en concomitance seront abordés dans la section 2.10 qui aborde le contexte de double ou de multitâche.

### **2.9.2 Tâche de Stroop**

En 1975, Charles J. Golden a développé « Stroop color and word test » (Stroop) dans le but de développer un outil valide et fiable afin de mesurer la créativité. La troisième section de ce test, considérée comme la plus difficile, consistait à dire à voix haute la couleur de l'encre avec laquelle le mot était écrit. Ces mots étaient des couleurs écrites d'une couleur non congruente, par exemple : le mot bleu écrit à l'encre verte, le participant se devait de dire vert à voix haute. Les résultats ont été concluants pour le chercheur puisqu'il a développé un outil valide et fiable et laissant voir plusieurs avantages à son utilisation. Le test peut être administré à toute personne apte à lire, il ne démontre aucun biais en ce qui concerne le sexe et ses résultats sont reproductibles dans le temps (Golden, 1975). Le test est facile d'usage, peu coûteux. Il est également possible de le traduire et donc, d'être utilisé par des personnes de différentes cultures.

Plusieurs variations de ce test ont été utilisées dans différentes recherches et adaptées au protocole expérimental en vigueur dans les études. La tâche de Stroop modifiée est utilisée comme tâche cognitive dans un contexte multitâche par plusieurs chercheurs (notamment par Cossette et coll. 2014, Howell et coll. 2014, Catena et coll. 2011 et Fait et coll. 2009, Reed et Fait et coll. 2013). Les couleurs écrites étaient projetées sur un écran et les participants devaient nommer la couleur de l'encre à voix haute tout en effectuant d'autres tâches en simultané. La tâche de Stroop est une tâche d'inhibition qui engendre une compétition au niveau de l'attention, c'est cette tâche qui a été utilisée dans le cadre de notre projet de recherche.

### **2.9.3 Utilisation de la tâche de Stroop chez les personnes ayant subi une commotion cérébrale**

Le test de Stroop est une tâche cognitive de plus en plus utilisé en recherche chez les sujets ayant subi une commotion cérébrale puisqu'il est considéré comme étant sensible aux déficits associés à cette condition (Osimani, Alon, Berger, & Abarbanel, 1997; Stuss, Floden, Alexander, Levine, & Katz, 2001). Il pourrait fournir des informations pertinentes sur la résolution de conflits des capacités cognitives puisque le participant se doit de réagir rapidement à un stimulus congruent ou non-congruent. Howell et ses collaborateurs ont utilisé une version auditive du Stroop test à la marche chez une population d'adolescents et de jeunes adultes. Les participants ont été testés quatre fois à la suite de leur commotion cérébrale à l'intérieur d'un intervalle de temps de deux mois soit : 72 heures, une semaine, deux semaines et un mois post-impact. La

tâche de Stroop n'a pas su démontrer de différence statistiquement significative en ce qui a trait à la vitesse moyenne, la longueur de pas et la largeur de pas entre le groupe témoin et le groupe expérimental chez les jeunes adultes (Catena, van Donkelaar, & Chou, 2011; Howell et al., 2013). Par ailleurs, le groupe commotionné a montré plus d'erreurs lors de la réalisation de la tâche de Stroop à chacune des évaluations. Howell et ses collaborateurs suggèrent que le niveau d'erreurs est plus élevé chez les adolescents du groupe expérimental puisque la récupération, soit la résorption complète des symptômes, est parfois moins linéaire que chez l'adulte.

## **2.10 CONTEXTE DE DOUBLE TÂCHE**

Lors de la réalisation d'une nouvelle tâche, il est nécessaire de mobiliser un minimum de concentration afin de la réaliser au meilleur de ses capacités (Richard A. Schmidt & Wrisberg, 2008). Le fait de pratiquer la tâche à répétition permet d'acquérir une meilleure technique afin d'en faciliter sa réalisation tout en diminuant progressivement le niveau d'attention nécessaire (Schmidt, 1988). Un coût attentionnel moindre permet de dépenser moins d'énergie dans l'exécution de la tâche. Lorsqu'une tâche présente un niveau de difficulté plus exigeant, la demande énergétique sera nécessairement plus grande. Le coût attentionnel sera plus élevé et la tâche sera plus difficile à effectuer en concomitance avec une seconde tâche (Abenethy, 1988). L'attention déployée pour la réalisation des deux tâches simultanément ne sera pas partagée (Hahn et al., 2008; Wickens, 2008). Elle sera plutôt divisée afin de subvenir au besoin attentionnel de chacune d'elles. Le système attentionnel contrôle le traitement

mental de l'information provenant des différents systèmes générant des afférences sensorielles et motrices. Il établit le niveau de signification afin d'allouer les ressources disponibles aux différents systèmes de traitement de l'information. Il est possible que l'exécution de la tâche soit réalisée sans aucun problème. Par ailleurs, les deux tâches peuvent être effectuées avec difficulté dans les cas où la personne omet l'exécution de l'une des deux tâches de manière volontaire ou par inadvertance. C'est ce qu'on appelle le concept de double tâche. Généralement, ce type de paradigme est utilisé en demandant d'exécuter une tâche cognitive en concomitance avec une tâche motrice. La double tâche permet de créer une augmentation de la demande attentionnelle, ce qui engendre une compétition entre les stimuli sensoriels reçus.

### **2.10.1 Pourquoi utiliser un contexte de double tâche ?**

Une double tâche permet de diviser l'attention et d'augmenter la charge attentionnelle, comme dans des situations de jeu, pour mesurer s'il y a des dysfonctions ou non. Les sports comportent des moments dans lesquels l'athlète est en situation de prise de décisions, où celui-ci doit agir et réagir. Le fait de faire face à diverses perturbations lors d'une joute sportive oblige l'athlète à émettre des réponses motrice et cognitive adéquates. Le système attentionnel a pour rôle d'orienter les stimuli sensoriels, maintenir l'état de vigilance et détecter les perturbations environnantes dans le but de les classer selon leur importance (Petersen & Posner, 2012).

Dans la littérature, des théories tentent d'expliquer le principe d'interférence dans une division de l'attention. Celles-ci se divisent en trois catégories : la théorie de la capacité, la théorie de l'entonnoir et la théorie neurologique (Grasso, Glasauer, Takei, & Berthoz, 1996).

Chacune des théories a une représentation bien différente quant à l'exécution des tâches. La théorie de la capacité suggère que la capacité des processus issue du système nerveux central servant à l'analyse des informations et à la mise en place des actions adéquates se voient limitées. L'exécution d'une tâche simple requiert un niveau attentionnel qui utilise une portion de la capacité. Lors de l'exécution de plusieurs tâches exécutées en concomitance offrant un minimum de difficulté, la capacité totale serait dépassée. Ainsi, la performance dans l'exécution de l'une des deux tâches pourrait se voir diminuée (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Pour ce qui est de la théorie de l'entonnoir, l'idée de celle-ci découle de l'analyse de divers résultats de recherche impliquant l'utilisation de temps de réaction (Pashler, 1998). Le participant est donc contraint à réagir à deux stimuli découlant de deux différentes tâches à intervalles très rapprochées, où sa capacité à réagir est mesurée. Le temps de réaction est plus élevé lorsque deux tâches sont effectuées simultanément. À l'opposé, une tâche seule engendre un temps de réaction plus court. Cette théorie repose sur l'idée de la présence d'un canal de traitement unique servant à traiter les différentes stimulations sensorielles (Pashler, 1998). Le canal agirait comme un entonnoir où les informations passeraient une à la suite de l'autre. Ainsi, la réalisation de plusieurs tâches simultanées engendrant des afférences sensorielles créera une division de l'attention et augmentera le coût

attentionnel (Broadbent, 1958). Pour ce qui est de la théorie neurologique, l'idée de cette hypothèse est de créer un lien entre les interférences observées lors d'une tâche de division de l'attention par rapport aux caractéristiques physiologiques et anatomiques de l'homme (Willis, 1989). L'exécution de tâches effectuées en concomitance engendre une interférence qui serait inversement proportionnelle à la distance entre les zones corticales du cerveau activées par celles-ci. Dans la réalisation de ce mémoire, aucune des différentes théories ne sera testée. L'objectif est plutôt de souligner qu'il y a un effet d'interférence lors de la division de l'attention pendant l'expérimentation.

Est-ce possible de diviser son attention de façon égale afin d'effectuer les deux tâches en concomitance parfaite? La littérature tend à démontrer une différence au niveau de la réponse à cette question chez les commotionnés par rapport aux non-commotionnés. Chez les personnes ayant subi ce type de traumatisme, cette demande attentionnelle élevée a tendance à diminuer leurs performances (Catena, Donkelaar, & Chou, 2007; Cossette, Ouellet, & McFadyen, 2014; Fait, McFadyen, Swaine, & Cantin, 2009). Le fait d'intégrer ce type d'évaluation pourrait permettre d'augmenter la rigueur et l'efficacité du protocole de retour au jeu. Son utilisation répétée tout au long du protocole de retour au jeu pourrait cibler certains déficits. Il serait peut-être possible d'observer l'amélioration à travers les diverses étapes du protocole.

### **2.10.2 Effet d'un contexte double tâche chez les personnes ayant subi une commotion cérébrale**

Plusieurs groupes de chercheurs ont mis en place des protocoles dans le cadre de leur recherche sur les commotions cérébrales, impliquant un conflit attentionnel comprenant la sphère cognitive et motrice afin de créer un contexte de double tâche. L'utilisation de la double tâche pourrait aider à identifier des déficits fonctionnels persistants et qui pourraient normalement être plus difficiles à détecter à la suite d'une commotion cérébrale. L'équipe de recherche de Howell et ses collaborateurs se sont arrêtés sur un protocole à la marche où une tâche de type cognitive a été ajoutée afin de créer un contexte de double tâche (Howell et al., 2015). À l'aide d'un échantillon de quarante participants, ils ont formé, à part égal, un groupe d'adolescents sains et un groupe d'adolescents avec commotion cérébrale. La tâche évaluée consistait à marcher dans un couloir sans perturbation et à trois autres reprises en concomitance avec une tâche cognitive. Les participants étaient testés à quatre reprises, soient 72 heures, une semaine, un mois et deux mois post-commotion. Howell et ses collaborateurs se sont attardés à l'analyse d'un cycle de marche (déplacement médio-latéral du centre de masse) et la précision des réponses des participants. Lors des quatre évaluations effectuées dans le temps, le groupe expérimental s'est vu avoir un plus grand déplacement du centre de masse en médio-latéral comparativement au groupe contrôle, et ce, pour les deux tâches cognitives les plus difficiles (tâche de question réponse et tâche de Stroop modifiée, la version auditive). Pour les adolescents avec commotion cérébrale, la simple tâche de marche a démontré que les déplacements en médio-latéral du centre de masse était la plus petite. La tâche de Stroop modifié auditive (une tâche où le participant doit inhiber une information pour pouvoir donner la bonne réponse) a été

plus difficile pour les participants issus du groupe expérimental. Il a été observé que leur nombre d'erreurs était plus élevé. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été rapportée pour les conditions de double tâche au niveau de la précision des réponses. Les résultats de Howell et ses collaborateurs suggèrent qu'une double tâche peut amplifier la perturbation au niveau de l'équilibre chez les personnes avec une commotion cérébrale. Ce type de perturbation pourrait indiquer une récupération physiologique incomplète même si les symptômes initiaux semblent s'être résorbés (Barr, Pritchep, Chabot, Powell, & McCrea, 2012). Ces résultats corroborent d'autres études qui suggèrent que l'ajout d'une seconde tâche peut avoir des effets sur les habiletés motrices chez les adolescents ayant subi une commotion cérébrale (Parker, Osternig, Van Donkelaar, & Chou, 2006) et chez les adultes avec un historique de commotion (Fait et al., 2013). Catena et ses collaborateurs mettent aussi la double tâche de l'avant dans leur recherche sur les commotions cérébrales (Catena et al., 2007). Ils ont effectué une étude sur 14 jeunes adultes ayant subi une commotion cérébrale, cela 48 heures à la suite de l'incident, ayant occasionné la blessure. Le tout était comparé à un groupe de personnes saines, appareillé. L'étude consistait à marcher sur une distance de huit mètres sans aucune perturbation. Par la suite, d'autres essais étaient effectués en intégrant une tâche cognitive de type question/réponse (p. ex. épeler un mot de cinq lettres à l'envers, des soustractions, réciter les mois de l'année à l'envers) et une tâche où le participant devait appuyer sur un bouton le plus rapidement possible lorsqu'il pouvait entendre le signal sonore. L'équipe de chercheurs s'est attardée au mouvement du centre de masse et au temps de réaction. Les résultats ont montré que les participants issus du groupe

expérimental marchaient plus lentement dans chacune des conditions par rapport à un groupe témoin. Les participants commotionnés ont vu la vitesse maximale de leur centre de masse en antéro-postérieur plus lente que leur comparatif dans toutes les conditions. Cette diminution de la vitesse et du pic de vitesse de leur centre de masse en antéro-postérieur suggère une stratégie d'adaptation de la marche plus conservatrice, des résultats similaires aux études de Chou et Parker (Chou, Kaufman, Walker-Rabatin, Brey, & Basford, 2004; Parker, Osternig, Lee, Donkelaar, & Chou, 2005). En ce qui concerne le temps de réaction et de précision de la réponse aux questions des participants, aucune différence entre les deux groupes n'est sortie statistiquement significative. Martini et ses collaborateurs, quant à eux, se sont attardés à une condition de double tâche en intégrant une tâche motrice (Martini et al., 2011). Ils ont fait une étude basée sur un échantillon de 28 jeunes adultes avec un passé de commotion cérébrale et un groupe de 40 jeunes adultes sains. Les participants devaient faire face à quatre conditions différentes : une marche seule, une marche avec tâche cognitive (test de mémorisation), marche avec enjambement d'un obstacle (29,5 cm de hauteur) et marche avec enjambement d'obstacle avec tâche cognitive. À travers toutes les différentes conditions, le groupe expérimental a adopté une marche significativement plus lente.

De plus, pour ce même groupe, les analyses statistiques ont montré un temps passé en double appui plus important, lors des conditions avec obstacles. Ces résultats nous laissent croire que les participants ayant un historique de commotion cérébrale ont

tendance à adopter une marche plus conservatrice et sécuritaire face aux différentes perturbations.

Les adolescents sont plus à risque de subir une commotion cérébrale et les symptômes en découlant semblent être davantage persistants. Les tests d'évaluation clinique sont, à ce jour, manquants pour le dépistage des signes et symptômes résiduels. À la lumière des résultats obtenus par divers scientifiques, le potentiel d'un outil clinique impliquant un contexte de double tâche ou multitâche pourrait être la clé afin de protéger les jeunes contre un retour au jeu hâtif. C'est dans cette ordre d'idées que ce mémoire a été réalisé.

## **2.11. EFFETS D'ANTICIPATION**

Des actions motrices doivent être réalisées à chaque jour de notre vie. L'exécution d'un mouvement volontaire comprend aussi l'anticipation de l'impact de l'action ou de ce mouvement. Certaines théories supposent que l'anticipation de l'impact de notre action se voit primordiale dans la sélection des actions volontaires (Schmidt, 1988; Schmidt, 1975). D'autres théories affirment que l'anticipation des impacts de nos actions fait partie du processus de contrôle pour la planification et l'exécution de l'action. Par exemple, la théorie de « Schema » suggère que l'anticipation de nos actions est un pré-test pour déterminer si notre action planifiée aura les effets désirés et pour mettre en exécution notre action afin de comparer les impacts anticipés aux impacts réels (Schmidt, 1988; Schmidt, 1975). Ainsi, l'anticipation est considérée comme une

composante importante dans la détection et la correction d'une erreur potentielle (Schmidt, 1988; Schmidt, 1975). Lorsqu'une perturbation arrive, qu'elle soit cognitive ou motrice, la personne se doit d'anticiper celle-ci avant de la vivre. À ma connaissance, aucune étude n'a abordé l'effet d'anticipation dans une situation de simple ou de double tâche chez des personnes ayant subi une commotion cérébrale. Compte tenu des signes et symptômes discutés précédemment, serait-il possible que les personnes ayant subi une commotion cérébrale anticipent leurs actions différemment, ce qui modifierait leur manière de réagir? L'étude faisant l'objet de ce mémoire aborde l'effet d'anticipation d'appliquer à une situation où la demande attentionnelle se voit plus élevée, soit un contexte multitâche. Le tout chez des participants commotionnés pour en connaître davantage sur les effets potentiels chez cette population.

## **CHAPITRE 3**

### **ARTICLE**

# **ALTÉRATIONS BIOMÉCANIQUES DE LA MARCHÉ SUR TAPIS ROULANT DANS UN CONTEXTE D'ANTICIPATION ET D'EXÉCUTION D'UNE DOUBLE TÂCHE CHEZ LES ADOLESCENTS AYANT SUBI UNE COMMOTION CÉRÉBRALE**

À soumettre à la revue « Journal de Traumatologie du Sport »

BEAUDET Zachary<sup>1-2</sup>, BOIVIN Karine<sup>1-2</sup>, SAADE Nour<sup>2</sup>, DUBE  
Yves<sup>3</sup>, LAURENCELLE Louis<sup>2</sup>, ST-PIERRE Marc-Olivier<sup>2</sup>, LACROIX  
Philippe<sup>2</sup>, FAIT Philippe<sup>1-2</sup>.

Affiliations

<sup>1</sup>Groupe de Recherche sur les Affections Neuro-musculo-squelettiques (GRAN), Trois-Rivières, Canada

<sup>2</sup>Département des Sciences de l'activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), Canada

<sup>3</sup>Département de Génie mécanique, Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR),  
Canada

\* Toute correspondance et toute demande doivent être adressées à Dr. Philippe Fait,  
4458, Albert-Tessier, Université du Québec à Trois-Rivières. Téléphone : (819) 376-  
5011, extension 3768. Fax : (819) 376-5092. Courriel : [philippe.fait@uqtr.ca](mailto:philippe.fait@uqtr.ca).

### **Contribution des auteurs**

Zachary Beaudet a été l'étudiant de deuxième cycle en charge du projet. Il a créé les documents nécessaires à l'élaboration du projet. Il a effectué le recrutement des participants et les collectes de données biomécaniques. Il a effectué les analyses statistiques. Monsieur Nour Saadé a participé à l'élaboration du projet et a participé à chacune des collectes de données. Monsieur Yves Dubé a aidé au développement et à la conception du montage laboratoire. Monsieur Marc-Olivier St-Pierre a participé à l'élaboration du protocole expérimentale et développer la mise place optimal du laboratoire pour les collectes de données. Monsieur Philippe Lacroix a participé au traitement des données et à l'analyse statistiques. Monsieur Louis Laurencelle a participé à l'élaboration du plan statistiques et l'analyse des données. Madame Karine Boivin, à titre de co-directrice et Monsieur Philippe Fait, à titre de directeur, ont supervisé la création du projet, l'analyse des résultats et l'écriture de l'article scientifique.

## RÉSUMÉ

**Objectifs :** L'objectif global de cette étude est d'évaluer si des adolescents ayant subi une commotion cérébrale ont des altérations fonctionnelles résiduelles observables, au moyen d'une évaluation biomécanique de la marche sur tapis roulant, dans un contexte impliquant l'anticipation ou l'exécution d'une double tâche. Le premier objectif spécifique est d'examiner si les effets des contextes d'anticipation et d'exécution d'une double tâche à la marche par rapport à un contexte de marche seulement, sont différenciés entre les adolescents commotionnés et les adolescents sains. Le deuxième objectif spécifique est d'examiner, lors de la marche, si les impacts de la double tâche induisent des effets différenciés en comparaison aux contextes d'anticipation chez les adolescents commotionnés par rapport aux adolescents sains. Le troisième objectif spécifique est de vérifier si la confiance des adolescents commotionnés en leur équilibre est davantage affectée comparativement à celle des adolescents sains face à un contexte de double tâche (que cette dernière soit cognitive ou motrice) par rapport à un contexte de marche seulement.

**Appareillage :** L'évaluation expérimentale a été effectuée sur un tapis roulant muni d'un obstacle motorisé. Les données cinématiques tridimensionnelles ont été collectées par une caméra avec suivi optique 3D (Northern Digital Inc., Polaris spectra, Canada) à une fréquence de 60 Hz. Un corps rigide muni de trois billes réfléchissantes a été apposé

sur la face dorsale du pied dominant afin de suivre sa trajectoire à la marche. La tâche de STROOP modifiée (tâche cognitive) a été présentée grâce à l'utilisation d'un Ipad.

**Participants :** Des enfants et adolescents (10 à 17 ans) ont été recrutés dans divers associations sportives et programmes de sport-études. Un échantillon de 18 participants a été atteint. Les participants ont été testés à l'intérieur de la semaine suivant la commotion cérébrale.

**Intervention :** L'expérimentation comprenait cinq conditions : (1) un exercice de marche seule (marche-simple), (2) la performance seule de la tâche cognitive debout au repos (Stroop seul), (3) un exercice de marche avec anticipation de l'exécution de la tâche cognitive (marche pré-Stroop), (4) un exercice de marche concomitant à l'exécution de la tâche cognitive (marche-Stroop), (5) un exercice de marche avec anticipation du déclenchement de l'obstacle dynamique (marche pré-obstacle).

**Variables mesurées :** La vitesse de marche, la durée d'enjambée, la longueur d'enjambée, la hauteur maximale du dégagement pied-sol, le nombre d'erreurs à la tâche de Stroop et la confiance en l'équilibre sont les variables dépendantes mesurées.

**Résultats généraux :** Des effets d'interaction significatifs ont été observés dans le cas du contraste entre les deux conditions d'anticipation (marche pré-Stroop et marche pré-obstacle) comparativement à la condition de double tâche (marche-Stroop). Ainsi, les adolescents avec commotion cérébrale, en comparaison aux adolescents sains présentent une longueur d'enjambée diminuée ( $F_{3,48} = 6,38 ; p < 0,01$ ), une durée de l'enjambée augmentée ( $F_{3,48} = 5,24 ; p < 0,01$ ) et une hauteur maximale de dégagement pied-sol diminuée ( $F_{3,48} = 5,28 ; p < 0,01$ ).

**Conclusion :** Une situation de double tâche sur tapis roulant a le potentiel de faire ressortir des effets résiduels de la commotion cérébrale par une modification de certains paramètres de marche tels que la longueur d'enjambée, la durée d'enjambée et la hauteur maximale pied-sol.

**Mots clés :** Commotion cérébrale, traumatisme craniocérébrale léger, enfants et adolescents, tapis roulant, évaluation biomécanique, double-tâche, recherche clinique.

## INTRODUCTION

La commotion cérébrale est une lésion cérébrale traumatique induite par des forces biomécaniques (McCrory et al., 2017), qui survient fréquemment dans un contexte sportif. Son incidence n'a cessé d'augmenter lors du dernier quart de siècle (Zuckerman et al., 2015). Il est estimé qu'environ 1,6 à 3,8 millions d'adolescents subissent une commotion cérébrale par année dans un contexte de sport, et ce uniquement aux États-Unis (Langlois, Rutland-Brown, & Wald, 2006). Les jeunes sont donc particulièrement exposés à subir ce type de traumatisme.

Chez la plupart des sportifs ayant subi une commotion cérébrale, les déficits cognitifs (Williams, Puetz, Giza, & Broglio, 2015), l'équilibre (McCrea et al., 2003) et les symptômes (Nelson et al., 2016) s'améliorent rapidement au cours des deux premières semaines post-trauma. La période de retour au jeu se fait souvent à l'intérieur des dix jours suivant le trauma (Belanger & Vanderploeg, 2005; Lovell, Collins, Iverson, Johnston, & Bradley, 2004; Nelson et al., 2016). Cependant, des données récentes rapportent que des symptômes peuvent persister jusqu'à plusieurs mois chez les adolescents (Buzzini & Guskiewicz, 2006; McCrory et al., 2017). Une évaluation adéquate et une prise en charge personnalisée est donc de mise afin d'assurer un retour au jeu au moment opportun. Un retour au jeu hâtif pourrait mettre le jeune athlète à risque de subir une seconde blessure, une autre commotion cérébrale ou même, le

syndrome du deuxième impact qui peut provoquer des séquelles permanentes, voire même un décès (Cantu, 2016).

Les commotions cérébrales peuvent être difficile à diagnostiquer en raison des multiples systèmes humains impliqués et la variété de signes et symptômes, subtils à détecter (Giza & Hovda, 2001). Une approche évaluative intégrant les différents systèmes pourrait se voir plus efficace (Broglia, Macciocchi, & Ferrara, 2007; Gioia, 2015). L'évaluation des fonctions motrices s'avère une voie d'identification des altérations résiduelles chez les personnes commotionnées et plus particulièrement au niveau locomoteur (Catena et al., 2007; Catena et al., 2011). Des études ont montré que les personnes ayant subi une commotion cérébrale ont tendance à se déplacer en adoptant une stratégie plus précautionneuse. Cette adaptation se manifeste, par exemple, par l'adoption d'une cadence de marche plus lente (Chou et al., 2004; Fait et al., 2009a).

Il a été proposé que l'intégration d'un contexte de double ou multitâche lors de la marche serait sensible aux effets de la commotion cérébrale et cela, considérant l'augmentation de la demande attentionnelle dans un tel contexte d'évaluation (Fait et al., 2013; Register-Mihalik, Littleton, & Guskiewicz, 2013). Comme tâche d'inhibition cognitive pouvant être intégrée, en contexte de double tâche, la tâche de Stroop (Stroop, 1935) est considérée comme étant un moyen de faire ressortir les conséquences induites par une commotion cérébrale (Catena et al., 2011; Fait et al., 2013; Golden, 1975; Howell et al., 2013). Les participants doivent identifier la couleur d'un mot (tâche principale) sans lire le mot lui-même (p. ex. le mot "bleu" écrit en rouge). Il existe donc

un effet d'interférence sémantique, ou effet Stroop, provoqué par la lecture automatique du mot.

En milieu clinique, l'utilisation du tapis roulant permet d'évaluer la marche d'un individu dans un contexte multitâche, sans le besoin d'un long espace de marche, comme un corridor. Certains travaux de recherche ont montré que ce type de marche peut s'apparenter à celle au sol, à la suite d'un temps de familiarisation de quatre à six minutes (Matsas et al., 2000; Taylor, Evans, & Goldie, 1996).

Considérant les réalités cliniques ainsi que les défis du quotidien d'un adolescent ayant subi une commotion cérébrale, une méthode évaluative testant les fonctions cognitivomotrices est requise. Ce type d'évaluation pourrait permettre de mieux détecter la présence d'effets résiduels induits par une commotion cérébrale. De plus, cela pourrait fournir aux cliniciens de meilleures indications afin de choisir le moment opportun du retour aux activités quotidiennes (académique, sportives, etc.).

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer si des adolescents ayant subi une commotion cérébrale ont des altérations fonctionnelles résiduelles observables, au moyen d'une évaluation biomécanique de la marche sur tapis roulant, dans un contexte impliquant l'anticipation ou l'exécution d'une double tâche.

Le premier objectif spécifique est d'examiner si les effets des contextes d'anticipation et d'exécution d'une double tâche à la marche par rapport à un contexte de marche seulement, sont différenciés entre des adolescents commotionnés et des

adolescents sains. L'hypothèse proposée est que, chez les adolescents commotionnés, la longueur d'enjambée devrait diminuer davantage, la durée d'enjambée ainsi que la hauteur maximale de dégagement pied-sol devraient tous deux augmenter de manière plus importante par les contextes d'anticipation ou d'exécution d'une double tâche.

Le deuxième objectif spécifique est d'examiner, lors de la marche, si les impacts de l'exécution de la double tâche induisent des effets différenciés en comparaison aux contextes d'anticipation de cette même tâche chez les adolescents commotionnés par rapport aux adolescents sains. L'hypothèse proposée est que, chez les adolescents commotionnés, la longueur d'enjambée devrait diminuer davantage, la durée d'enjambée ainsi que la hauteur maximale de dégagement pied-sol devraient augmenter de manière plus importante lorsque l'on compare le contexte d'exécution de la double tâche à ceux d'anticipation.

Le troisième objectif spécifique est de vérifier si la confiance des adolescents commotionnés en leur équilibre est davantage affectée comparativement à celle des adolescents sains face à un contexte de double tâche (que cette dernière soit cognitive ou motrice) par rapport à un contexte de marche seulement. L'hypothèse proposée est que nous devrions observer chez les adolescents commotionnés, comparativement au groupe d'adolescents sains, une diminution plus notable de la confiance en leur équilibre face à un contexte de double tâche cognitive ou motrice par rapport à un contexte de marche seulement.

## MÉTHODOLOGIE

### Participants :

L'étude compte 18 participants, répartis selon deux groupes, soit un groupe de dix d'adolescents commotionnés (GR.EXP âge moyen :  $13,2 \pm 1,8$  ans) et un groupe témoin, de huit adolescents, du même âge (GR.TÉM., âge moyen :  $14,6 \pm 1,4$  ans). Les caractéristiques démographiques de chacun de ces deux groupes étudiés sont présentées au Tableau 1. Le recrutement a été fait auprès d'un programme de sport-études et de différentes écoles secondaires de la Mauricie, au Québec (Canada). Le comité institutionnel de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières a approuvé éthiquement cette recherche (CER-15-217-08-03.16, UQTR, Trois-Rivières, Canada). Le protocole de recherche a été expliqué aux participants et à leur tuteur légal. Ces derniers ont signé le consentement de façon libre et éclairée. Les adolescents qui composaient les deux groupes devaient être âgés entre 10 et 17 ans. Le critère d'inclusion pour participer au GR.EXP. consistait à avoir une référence médicale avec un diagnostic de commotion cérébrale. Le temps écoulé depuis le trauma provoquant la commotion cérébrale était de  $7 \pm 4$  jours. Le diagnostic médical a été émis par un professionnel de la santé moins d'une semaine avant l'expérimentation. Pour prendre part au GR.TÉM., les adolescents ne devaient pas avoir subi de commotion cérébrale. Les critères d'exclusions étaient les mêmes pour les deux groupes, soit : avoir subi une commotion cérébrale dans les six mois précédant la commotion cérébrale faisant l'objet de l'étude, avoir subi un traumatisme cranio-cérébral modéré/grave et/ou une fracture de la boîte crânienne, avoir une atteinte musculosquelettique ou neurologique pouvant nuire

à l'évaluation, avoir un problème cognitif ou comportemental (troubles d'apprentissage, trouble de la personnalité, trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité, etc.) et prendre des médicaments pouvant nuire au contrôle moteur ou à la récupération. Un questionnaire maison a été passé auprès de tous les participants pour s'assurer de leur éligibilité.

Tableau 1 :

## Caractéristiques démographiques des participants

<b>Caractéristiques démographiques</b>	<b>GR.TÉM. (n=8)</b>	<b>GR.EXP. (n=10)</b>	<b><i>P</i></b>
<b>Sexe (H ; F)</b>	(6 ; 2)	(8 ; 2)	0,897
<b>Âge (ans)</b>	14,6 ± 1,4	13,2 ± 1,8	0,173
<b>Taille (m)</b>	1,66 ± 0,06	1,64 ± 0,13	0,965
<b>Poids (kg)</b>	59,50 ± 15,03	56,5 ± 12,2	0,829
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	21,90 ± 4,07	20,81 ± 2,21	0,633
<b>Membre inférieur dominant (%)</b>	100% Droit	100% Droit	-

Les caractéristiques des participants sont présentées selon la nomenclature suivante [moyenne ± écart-type]. Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les groupes.

## **Instrumentation**

La marche se déroulait sur un tapis roulant (Precor 9,5 Low-Impact, USA). Un obstacle dynamique et motorisé a été conçu. Cet obstacle (voir figure 1) était fixé à un rail, monté sur un cadre d'acier, placé le long du tapis roulant (sur le côté du membre inférieur dominant du participant). Il consistait en une tige rigide cylindrique (polycarbonate; diamètre 12 mm). Le mouvement de l'obstacle pouvait être initié par une télécommande manuelle lors du contact du pied du membre inférieur dominant avec le tapis. La vitesse de défilement du rail était ajustée à celle de la vitesse de marche de chaque participant. Elle correspondait à  $97,03 \pm 2,16$  % de la vitesse du tapis roulant; cette dernière tributaire de la vitesse de marche de chacun et qui était auto-déterminée via un protocole spécifique. Une source d'alimentation (Yihua DC, YH-305D, USA) fournissait l'énergie à l'obstacle pour qu'il puisse se déplacer. Une marche en bois rectangulaire (50 cm profondeur x 86 cm longueur x 19 cm hauteur) a été placée derrière le tapis roulant afin de prévenir les accidents, en cas de perte d'équilibre (voir figure 1).

Les données cinématiques (trajectoires tridimensionnelles de marqueurs réfléchissants) étaient collectées à l'aide d'un système de poursuite optique couplé à une caméra (Northern Digital Inc., Polaris spectra, Canada). Un corps rigide (d'une dimension de 6 cm x 7.5 cm x 3.5 cm) était attaché sur le pied du membre inférieur dominant, à l'aide d'un pré-tape (Jaybird and Mais, Pro-Wrap natural (tan), USA) et d'un sparadrapp multi-extensible (BSN medical, hypafix, Canada). Ce corps était fixé au niveau de l'os cuboïde. Des chaussettes ballerines ont été utilisées pour faciliter la

marche. La tâche de Stroop était affichée sur un « Ipad Air » (Apple, MD787C/A, USA) à partir du logiciel « Microsoft PowerPoint software » (version 2016, Microsoft inc, USA), ce dernier placé sur le tableau de bord du tapis roulant, face au marcheur. Une caméra digitale (Sony, HDR-XR260, Canada) enregistrait le déroulement de cette tâche cognitive.

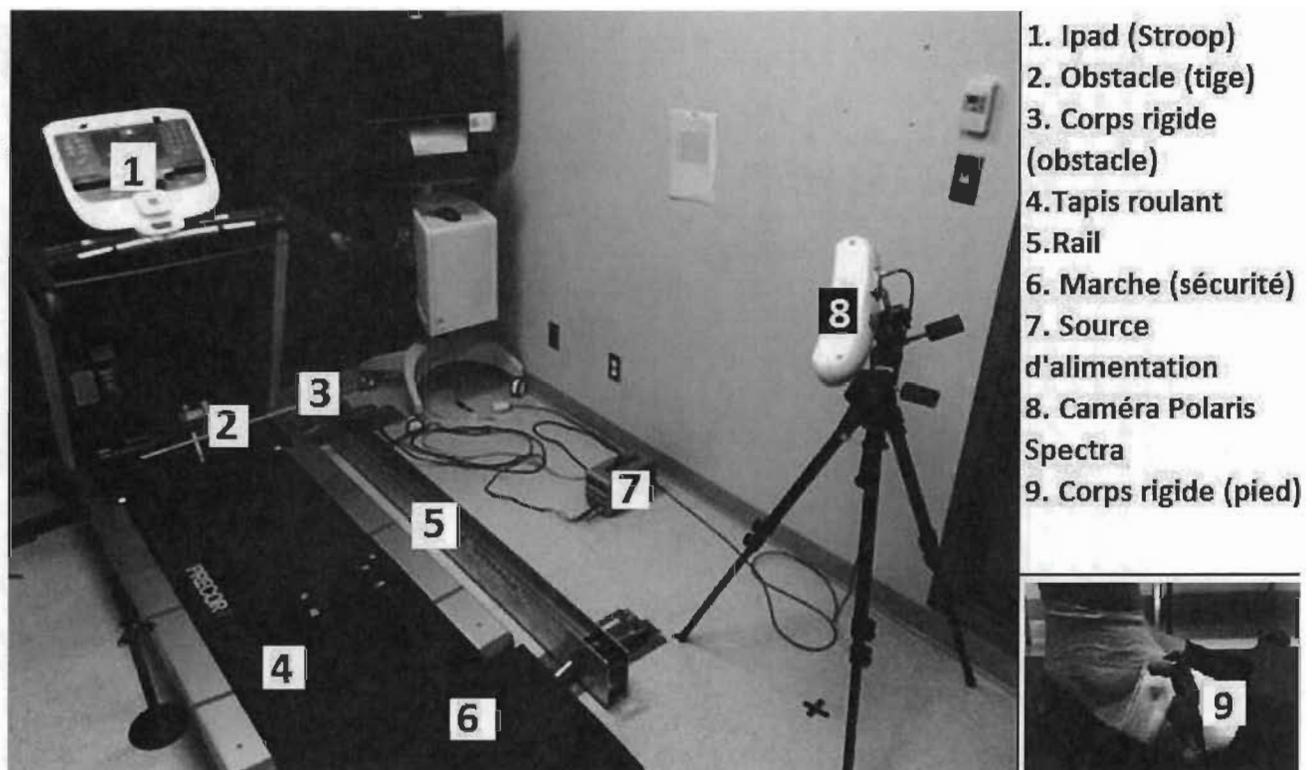


Figure 1 : Montage expérimental

### Procédure

Lors de l'évaluation, la préparation du participant débutait par la prise de mesures anthropométriques (poids et taille). La détermination du membre inférieur dominant était faite selon les tests décrits par Schneiders (Schneiders et al., 2010). Le

corps rigide était posé sur l'os cuboïde, à l'aide du pré-tape et du sparadrap multi-extensible.

À titre de calibration, trois collectes de données étaient réalisées. Une sonde munie d'un marqueur réfléchissant (EMOVI, Canada) permettait de définir certains repères spatiaux en fonction du référentiel global (par défaut dans la caméra) et d'un référentiel local (au niveau du corps rigide sur le pied/cuboïde). Ces deux collectes avaient deux objectifs. Le premier objectif consistait à définir la zone du marcheur sur le tapis, nommé plan sol. Pour ce faire, quatre coins du tapis étaient marqués à l'aide de la sonde lors d'une collecte de 14 secondes. La hauteur du plan sol est déterminé par la valeur moyenne de la hauteur des quatre points sondés. Le second objectif consistait à repérer le positionnement du tubercule du 5<sup>ème</sup> métatarsien sur le pied du membre inférieur dominant lors d'une collecte de cinq secondes. Le tout était exprimé selon un référentiel global positionné sur le tapis roulant.

Une période de familiarisation au tapis roulant de six minutes à une vitesse de marche préférentielle a été déterminée suivant les recommandations de Matsas et ses collaborateurs (Matsas et al., 2000). Elle se déroulait selon trois étapes, dont chacune requiert deux minutes de marche. La première étape consistait à choisir une vitesse de marche confortable (vitesse #1). Lors de la seconde étape, la vitesse du tapis était réglée à une vitesse de 1,5 km/h en dessous de celle-ci par l'évaluateur, cela à l'insu du participant. Il était demandé à ce dernier de déceler la vitesse préférentielle (vitesse # 1) lors d'une augmentation douce de la vitesse du tapis. Une nouvelle vitesse était prise en

note (vitesse # 2). La dernière étape exigeait que le participant décèle à nouveau sa vitesse préférentielle (vitesse #1) à la suite d'un réglage à son insu de la vitesse du tapis à 2 km/h au-dessus de cette dernière. La troisième vitesse (vitesse #3) était notée lors d'une diminution douce de la vitesse de marche où le participant tentait de la cibler le mieux possible. La vitesse sélectionnée pour fin d'expérimentation correspondait à la moyenne des trois vitesses notées.

L'expérimentation comprenait cinq conditions expérimentales : (1) un exercice de marche seule (marche-simple), (2) la performance seule de la tâche cognitive debout au repos (Stroop seul), (3) un exercice de marche avec anticipation de l'exécution de la tâche cognitive (marche pré-Stroop), (4) un exercice de marche concomitant à l'exécution de la tâche cognitive (marche-Stroop), (5) un exercice de marche avec anticipation du déclenchement de l'obstacle dynamique (marche pré-obstacle). Avant l'expérimentation de la 5<sup>e</sup> condition (marche pré-obstacle), une démonstration de l'obstacle défilant était effectuée, sans toutefois en expérimenter le mouvement d'enjambement. Les quatre exercices de marche (conditions 1, 3, 4 et 5) étaient réalisés lors d'une marche continue sur le tapis roulant à la vitesse préférentielle. Lors de ces exercices de marche, les données cinématiques étaient recueillies à l'insu du participant, selon une fréquence d'acquisition de 60 hertz, au cours de quatre essais de 12 secondes.

Une échelle visuelle analogique, un trait horizontal et continu sur une longueur de 10 cm, était présentée au participant à trois reprises : soit avant la condition de marche-simple, avant la condition marche pré-Stroop et avant celle de marche pré-

obstacle. Il était demandé à ce dernier de faire un trait vertical illustrant le niveau de confiance perçu en son équilibre face à la tâche présentée (où 0 = aucune confiance; 10 = pleine confiance). L'ordre de passation des conditions expérimentales était identique pour tous les participants.

La tâche cognitive consistait à la présentation de la tâche Stroop modifiée. Les mots apparaissaient à une fréquence de 1 Hz, écrits dans une couleur congruente ou non congruente sur la tablette positionnée sur le tableau de bord du tapis roulant.

### **Traitement des données**

Les cycles d'enjambées ont été découpés à partir des trajectoires tridimensionnelles (3D) du corps rigide situé sur l'os cuboïde, au niveau du membre inférieur dominant. Un cycle d'enjambée se définit comme étant l'intervalle entre deux positionnements antérieurs et successifs du pied dominant; survenant juste avant son contact avec le sol. Chaque détection du moment de ce positionnement du pied était faite grâce au repérage de la valeur maximale selon l'axe des Y du profil des trajectoires du centroïde du corps rigide situé sur l'os cuboïde. L'axe des Y est celui pointant antérieurement dans le plan de progression de la marche, selon le référentiel global, positionné sur le tapis roulant.

La position et l'orientation 3D des données cinématiques ont été interpolées par une approche linéaire, selon la technique «Slerp» (Shoemaker, 1985). Dans les cas où une interpolation avec justesse n'était pas possible, les cycles d'enjambés étaient retirés

des analyses ultérieures. Le lissage des données de cinématique a été fait à l'aide un filtre de type Butterworth d'ordre 2 et selon une fréquence de coupure de 8 Hz.

Un tri aléatoire des cycles d'enjambés était effectué à l'aide d'une fonction Matlab (MATLAB, 7.4, USA) de sorte à en conserver le même nombre d'une condition à l'autre et d'un participant à l'autre, soit un total de sept. Ce qui correspond au nombre minimal disponible et commun entre toutes les collectes de données, considérant le temps de collecte fixe de 12 secondes.

À partir des données de chacun des cycles d'enjambés conservés, trois paramètres étaient calculés à l'aide d'une fonction Matlab, soient la durée et la longueur de l'enjambée et la hauteur maximale du dégagement pied-sol. La durée, en seconde, a été obtenue en multipliant le nombre d'itérations compris dans une enjambée par la durée en seconde d'une itération (s), considérant la fréquence d'échantillonnage (60 hertz). La longueur de l'enjambée (m) a été obtenue en multipliant la durée du cycle de l'enjambé (s) par la vitesse de marche du participant (m/s). La hauteur maximale du dégagement pied-sol a été obtenue par la somme de la hauteur maximale atteinte à l'intérieur d'une enjambée par le corps rigide positionné sur le pied et la hauteur du plan sol sur la surface du tapis roulant. La hauteur est déterminée selon l'axe des X, puisqu'il est l'axe perpendiculaire au plan de progression de la marche, selon le référentiel global. Pour chacun de ces trois paramètres, la valeur moyenne sur le total des sept cycles conservés, a été calculée pour les fins des analyses statistiques.

Les erreurs à la tâche de Stroop modifiée était la somme des réponses incorrectes et des omissions. La différence individuelle entre le nombre d'erreurs observées entre la condition Stroop seule et la condition marche-Stroop a été effectuée afin d'observer l'effet d'une tâche en concomitance.

### **Analyses statistiques**

Pour comparer les caractéristiques anthropométriques des deux échantillons indépendants (âge, grandeur, poids et indice de masse corporelle, IMC) et pour vérifier s'il existait des différences significatives entre les deux groupes sur les caractéristiques de la marche le test non-paramétrique de U de Mann-Whitney a été utilisé. Ce test a donc été réalisé sur la vitesse de marche, la durée et la longueur de l'enjambée, ainsi que la hauteur maximale du dégagement pied-sol pour la condition de marche-simple. Une ANOVA, comparant les deux groupes de façon indépendante et les quatre conditions de marche à titre de mesures répétées, suppléée par une analyse en mode Monte Carlo a été effectuée afin d'évaluer la présence d'effets différenciés entre les groupes et les conditions expérimentales, sur la durée et la longueur d'un enjambé ainsi que sur la hauteur maximale du dégagement pied-sol. Plus spécifiquement, lors de ces analyses les deux contrastes suivants ont été testés. Le premier opposait la condition marche-simple aux trois autres conditions : marche pré-Stroop, marche pré-obstacle et marche-Stroop. Le second comparait la marche pré-Stroop et la marche pré-obstacle à la marche-Stroop. Le test U de Mann-Whitney a aussi été utilisé pour la comparaison, entre les deux groupes, sur les erreurs d'exécution à la tâche Stroop, effectuée seule et à la marche.

Pour déterminer les effets d'anticipation d'une condition de double tâche à la marche sur le niveau de confiance en l'équilibre, une ANOVA à mesure répétée comparant les trois passations de l'échelle visuelle analogique et les deux groupes indépendants a été effectuée. La décomposition des effets a été effectuée à l'aide de comparaisons à postériori, soit par le test post-hoc de Tukey.

## RÉSULTATS

### **Caractéristiques de la marche (condition marche simple-tâche)**

Le GR.EXP. avait une vitesse moyenne de marche de  $0,92 \pm 0,10$  m/s, une durée moyenne d'enjambée de  $1,17 \pm 0,06$  s, une longueur moyenne d'enjambée de  $1,07 \pm 0,14$  m et une hauteur maximale moyenne de dégagement pied-sol de  $0,09 \pm 0,016$  m. Ces valeurs moyennes sont comparables à celles du GR.TÉM. Or, tel qu'observable au Tableau 2, le comportement à la marche du GR.EXP. se distingue de celui du GR.TÉM. en termes de degré de variabilité inter-cycles. À cet effet, les tests de U Mann-Whitney ont permis de mettre en lumière que la variabilité inter-cycles est significativement plus importante chez le GR.EXP. comparativement au GR.TÉM, et cela, en ce qui a trait à la durée ainsi que la longueur d'enjambée (jusqu'à 1,6 fois plus grande pour les deux variables ; ratio entre la variabilité GR.EXP sur la variabilité GR.TÉM. des caractéristiques dont la variabilité est statistiquement significative).

Tableau 2 :

## Caractéristiques de la marche sur tapis roulant

Variables	GR.TÉM	GR.EXP	P	GR.TÉM	GR.EXP	P
	(n=8)	(n=10)		(n=8)	(n=10)	
	Moyenne			Variabilité		
Vitesse de marche (m/s) *	0,98 ± 0,08	0,92 ± 0,10	0,274	-	-	-
Durée de l'enjambée (s) ¥	1,14 ± 0,05	1,17 ± 0,06	0,408	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,01	<b>0,006</b>
Longueur de l'enjambée (m) ¥	1,11 ± 0,08	1,07 ± 0,14	0,460	0,02 ± 0,00	0,03 ± 0,01	<b>0,021</b>
Hauteur maximale de dégagement pied-sol (m) ¥	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,897	0,08 ± 0,04	0,07 ± 0,06	0,360

Annotation : Les caractéristiques des participants sont présentées selon la nomenclature suivante [moyenne ± écart-type]. Le symbole (\*) précise que la vitesse de marche est le résultat de la moyenne de trois vitesses déterminées lors de la période de familiarisation au tapis roulant (une valeur par participant). Le symbole (¥) accompagnant les autres variables spatio-temporelles indique que leurs valeurs moyennes ont été calculées à partir des 7 cycles sélectionnés aléatoirement au cours d'un exercice de marche continu de 12 secondes. Les chiffres en caractères gras indiquent qu'ils sont statistiquement significatifs.

### **Effets à la marche de l'anticipation ou de l'exécution d'une double tâche**

Aucun effet principal sur le facteur groupe n'a été observé à la suite des analyses MonteCarlo. Des effets principaux reliés au facteur condition ont montré des résultats significatifs dans le cas des deux contrastes décrit ci-dessous.

La longueur de l'enjambée ( $F_{3,48} = 17,19; p < 0,01$ ) ainsi que sa durée ( $F_{3,48} = 15,72; p < 0,01$ ) étaient significativement plus longues lors de la condition de marche simple en comparaison avec les deux conditions d'anticipation et celles de double tâche, comparées de manière combinée (marche pré-Stroop, marche pré-obstacle, marche-Stroop); et cela chez les deux groupes de participants. Une diminution significative de la longueur de l'enjambée ( $F_{3,48} = 24,81; p < 0,01$ ) et de sa durée ( $F_{3,48} = 23,96; p < 0,01$ ) a aussi été observée en comparant la condition de double tâche (marche-Stroop) avec celles d'anticipation (marche pré-Stroop et marche pré-obstacle).

Des effets d'interaction significatifs entre le facteur groupe et celui condition ont aussi été observés dans le cas du contraste entre les deux conditions d'anticipation (marche pré-Stroop et marche pré-obstacle) comparativement à la condition de double tâche (marche-Stroop). Ainsi, le GR.EXP, en comparaison au GR.TÉM présentent une longueur d'enjambée diminuée ( $F_{3,48} = 6,38; p < 0,01$ ), une durée de l'enjambée augmentée ( $F_{3,48} = 5,24; p < 0,01$ ) et une hauteur maximale de dégagement pied-sol diminuée ( $F_{3,48} = 5,28; p < 0,01$ ). Aucun effet significatif n'a été observé sur la variabilité inter-cycles.

### **Effets de la marche sur la performance au Stroop**

Le test de U de Mann-Whitney a confirmé l'absence d'effet significatif ( $P=0,515$ ), pour les deux groupes, sur la différence individuelle entre le nombre d'erreurs observées entre la condition de tâche de Stroop seul et marche-Stroop.

### **Effets sur la confiance en l'équilibre d'anticiper une condition de double tâche**

Un seul effet significatif a été observé, soit un effet principal ( $F_{2,32} = 4,13$ ;  $p = 0,025$ ) entre les trois moments comparés (avant la condition de marche-simple, la marche pré-Stroop et la marche pré-obstacle). Les comparaisons de moyennes à postériori ont précisé que la confiance en l'équilibre des participants, peu importe leur groupe d'appartenance, était significativement réduite lorsque ces derniers s'attendaient à enjamber un obstacle en comparaisons avec le moment juste avant la marche, seulement ( $p = 0,039$ ). Aucune différence entre les groupes n'a été observée sur cette échelle (voir figure 2).

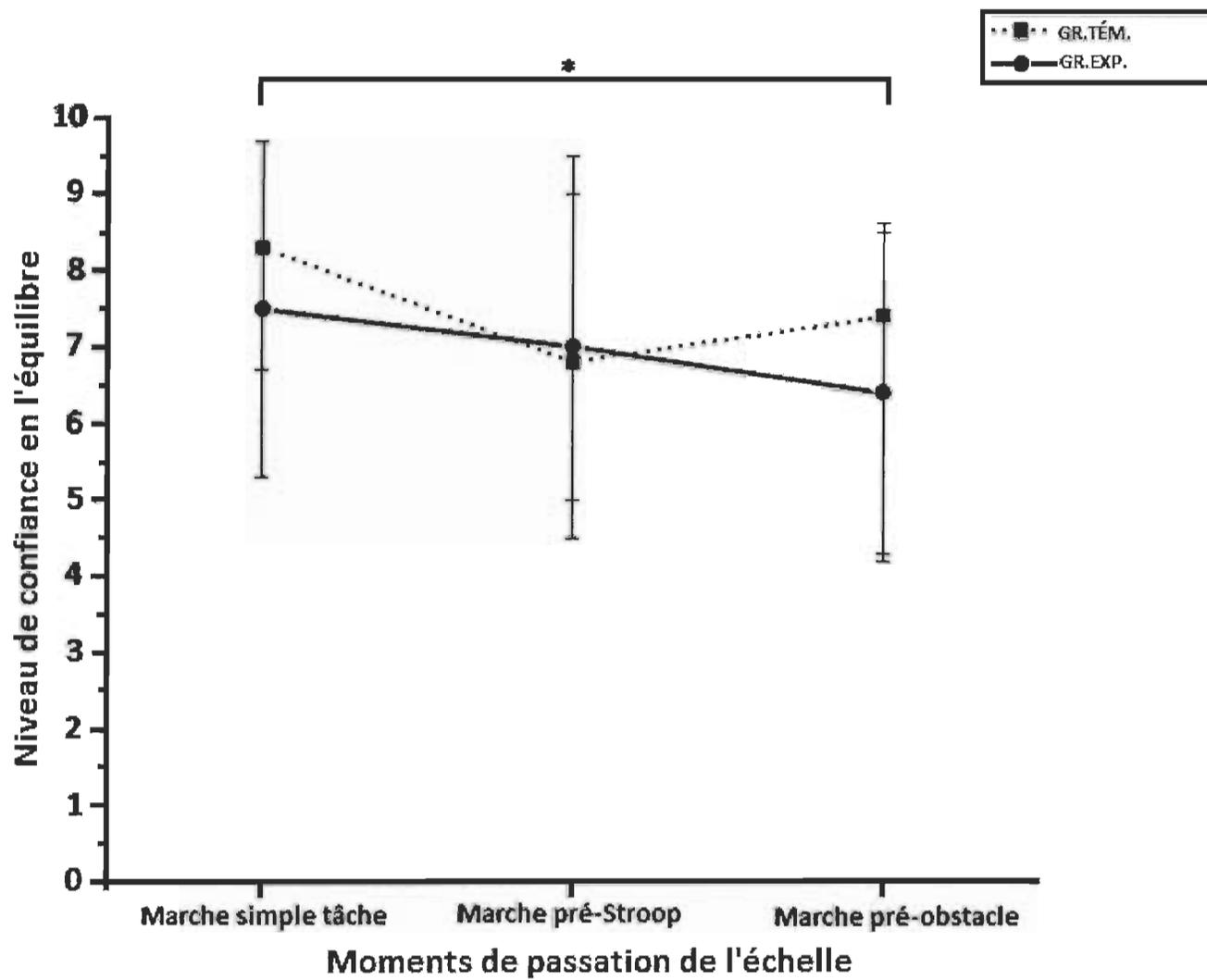


Figure 2 : Niveau de confiance en l'équilibre des participants en fonction des différentes conditions

## DISCUSSION

Cette étude a évalué si les adolescents ayant subi une commotion cérébrale ont des altérations fonctionnelles résiduelles observables par l'intermédiaire de contexte d'anticipation et d'exécution d'une double tâche. La principale découverte de cette étude est que les différents paramètres biomécaniques de marche ont été affectés chez les adolescents ayant subi une commotion cérébrale par rapport au groupe d'adolescents sains lorsque la condition de double tâche (marche-Stroop) était mise en contrastes aux deux conditions d'anticipation (marche pré-Stroop et marche pré-obstacle). La valeur moyenne des trois paramètres observés était significativement modifiée, soit : la durée de l'enjambée, la longueur de l'enjambée et le dégagement maximal pied-sol. Notre hypothèse initiale proposant une augmentation de la durée d'enjambée dans des contextes d'anticipation ou d'exécution d'une double tâche, chez les adolescents commotionnés, a été confirmée. Par ailleurs, la longueur d'enjambée a été plus petite pour la même situation de double tâche, contrairement à l'hypothèse initiale. La double tâche augmente la demande attentionnelle puisqu'il y a plusieurs stimuli auxquels le participant doit réagir. Le fait de diminuer la longueur des pas et d'en augmenter la durée d'une enjambée peut être interprété comme une adaptation de la marche plus précautionneuse afin de diminuer les risques de perdre l'équilibre et de mieux se concentrer sur les autres tâches, telles que la tâche de Stroop. Le même effet a été rapporté à la marche au sol par Catena et ses collaborateurs (Catena, Donkelaar, & Chou, 2007). L'étude de Catena soulignait aussi une vitesse de marche diminuée chez

les participants ayant subi une commotion cérébrale. Dans le cas de notre étude, malgré une vitesse de marche imposée de manière continue par le tapis roulant, le même phénomène a pu être observé. Dans le cadre de ce projet, les jeunes ont été testés moins d'une semaine à la suite à l'évènement ayant causé la commotion cérébrale. Parker et ses collaborateurs ont aussi obtenu une longueur de pas diminuée jusqu'à 14 jours post-trauma (Parker, Osternig, Van Donkelaar, & Chou, 2006).

Nous avons montré que la marche sur tapis roulant chez le GR.EXP. se distingue de celle du GR.TÉM. uniquement en termes de variabilité intercycle, soit 1,6 fois plus variables pour la durée et la longueur d'enjambée. Ce résultat est similaire à ce qui se trouve dans la littérature. La variabilité semble donc une mesure sensible pour détecter les effets de la commotion cérébrale. Ces résultats corroborent les résultats de Shiu-Ling Chiu et ses collaborateurs, se sont attardés à la variabilité des mouvements articulaires des membres inférieurs à la marche (Chiu, Osternig, & Chou, 2013). Une plus grande variabilité lors de la phase oscillatoire serait présente chez les jeunes adultes ayant subi une commotion cérébrale par rapport à des sujets sains appareillés. Il est montré que la capacité attentionnelle peut se voir réduite chez les personnes ayant subi une commotion cérébrale, ce qui entraîne des difficultés dans la réalisation d'une tâche (McCroory et al., 2017). À ce qui est observé dans les résultats, la demande attentionnelle induirait potentiellement une plus grande variabilité dans le contrôle des mouvements.

Étant donné le nombre de participants dans notre étude, les conditions ont été mises en contraste afin de faire ressortir des éléments significatifs. Un contraste entre la

marche-simple et les trois autres conditions (marche pré-Stroop, marche pré-obstacle et marche-Stroop) a été fait afin de voir s'il y avait des différences générales par rapport à la marche-simple.

Il a été observé que les deux groupes ont eu la même tendance au niveau de leurs caractéristiques de marche à travers les différentes conditions. En augmentant la complexité des conditions, les deux groupes ont vu leurs caractéristiques de marche être modifiées en suivant la même tendance. La longueur et la durée d'enjambée ont diminué à travers les conditions pour les deux groupes. Ce changement pourrait être expliqué par l'augmentation du niveau de difficulté et l'adaptation des participants par une marche plus précautionneuse face à l'ajout de stimuli. Ceci se compare à l'étude réalisée par Fait et ses collaborateurs (Fait et al., 2011), dans laquelle une augmentation de complexité de tâches est effectuée chez des adolescents sains dans une situation de patin sur glace. L'étude rapporte principalement des différences cognitives (erreurs à la tâche de Stroop modifiée) et locomotrices (diminution de la vitesse de déplacement et du coût de la double tâche) au niveau de la performance d'exécution lors de l'augmentation de la complexité des tâches. Les chercheurs suggèrent qu'une compétition attentionnelle est créée entre les différentes perturbations où certaines auront priorité.

De plus, dans le cadre de notre étude, les participants du GR.EXP. ont vu leur hauteur maximale de dégagement pied-sol plus petite que ceux du GR.TÉM. dans le contexte de double tâche. Serait-il possible que les participants commotionnés aient adapté la hauteur de leur pas à la baisse dû à un manque de confiance en leur équilibre ?

Cette adaptation est utilisée chez les personnes âgées qui adaptent leur marche afin d'éviter de chuter par la diminution de leur hauteur de pas (Mickey Stanley, 2005).

Nous n'avons pas vu de différence individuelle dans le nombre d'erreurs à la tâche de Stroop. Les deux groupes ne se sont pas montrés différents malgré les effets qu'auraient pu engendrer la commotion cérébrale. Il est courant de voir dans la littérature qu'une tâche de Stroop à la marche seule n'est pas suffisamment discriminative pour faire ressortir les effets de la commotion cérébrale. Une tâche de Stroop a aussi été utilisée par Catena et ses collaborateurs en position assise et à la marche chez un groupe sain et un groupe ayant subi une commotion cérébrale (Catena, van Donkelaar, & Chou, 2011). Les résultats ont montré qu'aucune différence de performance à la tâche de Stroop n'a été observée, autant au niveau du temps de réaction qu'au niveau de la justesse des réponses. Une étude de cas réalisée par Fait et ses collaborateurs a montré, chez un participant commotionné, qu'aucune erreur supplémentaire n'était faite lors de la réalisation de la tâche de Stroop à la marche comparativement à son exécution, sans la marche (Fait, McFadyen, Swaine, & Cantin, 2009). Ils ont par ailleurs observé une performance réduite à la tâche de Stroop lors de l'ajout d'une tâche motrice en concomitance et ce, jusqu'à 30 jours post-commotionnels.

Les participants du GR.EXP n'ont pas vu leur confiance en leur équilibre davantage affectée comparativement aux participants du GR.TÉM. Ce résultat contredit notre hypothèse initiale que les adolescents avec commotion cérébrale verraient leur confiance diminuer face à l'anticipation d'une tâche cognitive ou motrice. Dû à leur

commotion cérébrale, nous nous attendions à ce que la confiance soit ébranlée par crainte de chuter ou par peur de sous-performer à l'évaluation. Par ailleurs, peu importe leur groupe d'appartenance, la confiance en l'équilibre a été significativement réduite lorsqu'ils s'attendaient à enjamber un obstacle. Il serait pertinent d'ajouter ce type de perturbation en concomitance à la réalisation de la tâche de Stroop sur tapis roulant pour ainsi créer un contexte multitâche et augmenter la compétition attentionnelle.

Une limite de cette étude est la taille de l'échantillon. Il serait pertinent d'appliquer ce type de protocole sur un plus vaste échantillon afin de confirmer les résultats significatifs de cette étude. De plus, cette étude a été réalisée en contexte de laboratoire, en tentant de reproduire un contexte multitâche.

## CONCLUSION

Cette étude visait à étudier si les adolescents ayant subi une commotion cérébrale ont des altérations fonctionnelles résiduelles observables. Les résultats démontrent une différence des paramètres de marche chez les adolescents commotionnés lors de contexte d'anticipation et de double tâche avec interaction cognitivo- motrice. Cette étude souligne la sensibilité de l'analyse des cycles de marche dans de tels contextes pour la détection d'altération fonctionnelle post-commotion.

Les adolescents représentent un groupe de personnes plus à risque de subir une commotion cérébrale, l'inclusion d'une multitâche sur tapis roulant incluant une tâche motrice, tel un obstacle, pourrait se voir la clé pour développer une évaluation clinique discriminative pour cette population.

## **CHAPITRE 4**

### **DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION**

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons porté une attention particulière aux effets d'un contexte de double tâche chez des adolescents ayant subi une commotion cérébrale. Nous nous sommes attardés davantage aux altérations biomécaniques de la marche sur tapis roulant. La durée de l'enjambée, la longueur de l'enjambée et la hauteur maximale du dégagement pied-sol sont des variables pour lesquelles des effets d'interaction entre le facteur groupe et celui de condition ont été observés. D'autres variables ont été analysées, soit la précision des réponses à la tâche de Stroop ou la confiance en l'équilibre des participants. Le groupe expérimental ne s'est pas montré différent du groupe contrôle.

Nous avons choisi une population d'adolescents puisque c'est chez ce groupe d'âge, soit entre 10 et 17 ans, que la prévalence des commotions cérébrales est la plus élevée (Langlois et al., 2006). De plus, il est connu que les signes et symptômes sont plus à risque de persister plus longtemps dans le temps chez cette tranche de la population (Buzzini & Guskiewicz, 2006; McCrory et al., 2017).

La marche au sol est souvent utilisée comme outil d'évaluation, ce qui nécessite beaucoup d'espace, tel un couloir pour pouvoir marcher sur une certaine distance. Les cliniques de réadaptation interdisciplinaire et multidisciplinaire ont pour but de maximiser l'utilisation de l'espace pour les professionnels et les clients. Une évaluation sur une grande distance se voit difficile à intégrer dans ce type de milieu et pourtant, beaucoup de chercheurs ont pour ambition d'intégrer leurs innovations en milieu clinique par l'intermédiaire d'une batterie de tests. Nous avons décidé d'intégrer le tapis roulant pour l'évaluation de la marche afin de faciliter l'intégration d'un protocole réalisable en milieu clinique. Le tapis roulant permet de faire une évaluation de la marche dans un espace plus restreint et sur un nombre considérable de cycles de marche et d'observations. Il favorise alors l'étude de la marche dans des contextes de tâches multiples.

La double tâche a suffisamment montré des effets significatifs à travers plusieurs études face aux commotions cérébrales pour nous intéresser à effectuer une étude qui intègre ce type de paradigme. Les participants faisant l'objet de l'étude ont subi un événement traumatique ayant occasionné des symptômes, soit une commotion cérébrale. Ces adolescents peuvent hypothétiquement développer la crainte de subir la même blessure sachant que la commotion actuelle ne s'est pas entièrement résorbée. Ainsi, la confiance qu'ils ont envers leur équilibre pourrait se voir ébranlée, compte tenu que l'équilibre peut être affecté à la suite d'une commotion cérébrale. Selon l'hypothèse initiale, nous nous attendions à ce que les participants issus du GR.EXP. voient leur confiance être significativement plus basse par rapport au GR.TÉM. Les résultats se sont

avérés différents. Les deux groupes ont montré une diminution de leur niveau de confiance suivant la même tendance. Il a été observé qu'une diminution de la confiance en leur équilibre était provoqué lorsqu'ils s'attendaient d'enjamber un obstacle. L'obstacle, soit la perturbation physique, semble être la condition qui est le plus appréhendée par les participants en général. Ce résultat corrobore ceux obtenus par plusieurs chercheurs où la perturbation physique semble être celle qui perturbe le plus le cycle d'enjambement du participant (Catena, van Donkelaar, & Chou, 2009).

Les avancées scientifiques obtenues à travers les résultats de cette étude exploratoire permettent de faire avancer la recherche et de donner des résultats pertinents pour le développement d'une future batterie de test d'évaluation clinique pour les commotions cérébrales. Cette étude présente des limites. Premièrement, l'échantillon était relativement petit. D'autres études similaires à celle-ci devront être faites avec un plus grand nombre de participants. Cela pourrait permettre d'observer davantage de résultats significatifs qui auraient pu être camouflés par le manque de participants. C'est pour cette raison que nous nous sommes dirigés vers une ANOVA de type Monte Carlo et avons effectué des contrastes entre les différentes conditions pour faire ressortir les effets significatifs qui pouvaient être camouflés en raison d'un échantillon plus petit. De plus, un plus grand nombre de participants pourrait être plus représentatif de la population visée en augmentant la puissance statistique pour ainsi permettre de confirmer les résultats.

De plus, les futures études devraient inclure l'enjambement d'obstacle puisque cette perturbation semble être celle qui a un impact plus important sur la confiance en l'équilibre des participants. Afin que chacune des conditions engendrent un effet de surprise et oblige le participant à être en état d'hypervigilance, il serait pertinent d'intégrer une portion aléatoire où différents types de perturbation puissent se produire. L'ajout d'une condition de multitâche sur tapis roulant, soit avec une tâche cognitive et motrice pourrait être intéressant. Une multitâche augmenterait la compétition attentionnelle et les participant ne pourrait pas diminuer leur vitesse de marche puisqu'il serait imposé par le tapis roulant.

En conclusion, cette étude a permis de démontrer que les adolescents qui ont subi une commotion cérébrale voient leur patron de marche modifié lors de la réalisation d'une double tâche sur tapis roulant, par rapport aux conditions d'anticipation de perturbation, qu'elles soient cognitive ou motrice. Les résultats abondent dans le sens où la double tâche sur tapis roulant se voit un protocole sensible aux commotions cérébrales, lors de l'analyse de la marche. Il y aurait un effet d'interférence plus important chez les adolescents commotionnés lors d'une division de l'attention, ce qui engendrerait un coût attentionnel plus important à l'une des tâches exécutés en concomitance. Ce mémoire propose un protocole différent et facilement applicable en milieu clinique pour l'évaluation des fonctions locomotrices. D'autre part, ce protocole pourrait permettre de déceler des déficits résiduels chez les adolescents ayant subi une commotion cérébrale. Les résultats de cette étude encouragent le développement d'un

outil clinique pour l'évaluation des commotions cérébrales intégrant un aspect cognitif et moteur pour assurer un retour aux activités de la vie quotidienne et sportive sécuritaires.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abenethy, B. (1988). Dual-task methodology and motor skills research: Some applications and methodological constraints. . *J. Hum. Mov. Stud.* 14, 101-132.
- Abrahams, S., Fie, S. M., Patricios, J., Posthumus, M., & September, A. V. (2014). Risk factors for sports concussion: An evidence-based systematic review. *British Journal Of Sports Medicine*, 48(2), 91-97. doi: 10.1136/bjsports-2013-092734
- Barlow, K. M., Crawford, S., Stevenson, A., Sandhu, S. S., Belanger, F., & Dewey, D. (2010). Epidemiology of postconcussion syndrome in pediatric mild traumatic brain injury. *Pediatrics*, 126(2), e374-e381. doi: 10.1542/peds.2009-0925
- Barr, W. B., Prichep, L. S., Chabot, R., Powell, M. R., & McCrea, M. (2012). Measuring brain electrical activity to track recovery from sport-related concussion. *Brain Injury*, 26(1), 58-66. doi: 10.3109/02699052.2011.608216
- Belanger, H. G., & Vanderploeg, R. D. (2005). The neuropsychological impact of sports-related concussion: A meta-analysis. *Journal Of The International Neuropsychological Society: JINS*, 11(4), 345-357.
- Bradford McFadyen, B. M. (1997). Neuromechanical concepts for the assessment of the control of human gait. *Three-dimensional analysis of locomotion. John Wiley and Sons. Toronto: Allard, P., Cappozzo Lundberg, A., and Vaughan*, p. 49-66.
- Broadbent, D. E. (1958). Perception and communication. *London: Pergamon Press*.
- Broglio, S. P., Macciocchi, S. N., & Ferrara, M. S. (2007). Sensitivity of the concussion assessment battery. *Neurosurgery*, 60(6), 1050-1057.

- Buzzini, S. R. R., & Guskiewicz, K. M. (2006). Sport-related concussion in the young athlete. *Current Opinion In Pediatrics, 18*(4), 376-382.
- Cancelliere, C., Coronado, V. G., Taylor, C. A., & Xu, L. (2017). Epidemiology of isolated versus nonisolated mild traumatic brain injury treated in emergency departments in the united states, 2006-2012: Sociodemographic characteristics. *J Head Trauma Rehabil, 32*(4), E37-E46. doi: 10.1097/HTR.0000000000000260
- Cantu, R. C. (2016). Dysautoregulation/second-impact syndrome with recurrent athletic head injury. *World Neurosurgery, 95*, 601-602. doi: 10.1016/j.wneu.2016.04.056
- Carson, J. D., Lawrence, D. W., Kraft, S. A., Garel, A., Snow, C. L., Chatterjee, A., . . . Frémont, P. (2014). Premature return to play and return to learn after a sport-related concussion: Physician's chart review. *Canadian Family Physician Medecin De Famille Canadien, 60*(6), e310.
- Cassidy, J. D., Carroll, L. J., Peloso, P. M., Borg, J., von Holst, H., Holm, L., . . . Coronado, V. G. (2004). Incidence, risk factors and prevention of mild traumatic brain injury: Results of the who collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *J Rehabil Med*(43 Suppl), 28-60.
- Catena, R. D., Donkelaar, P. v., & Chou, L.-S. (2007). Cognitive task effects on gait stability following concussion. *Exp Brain Res, 176*, 9.
- Catena, R. D., van Donkelaar, P., & Chou, L.-S. (2009). Different gait tasks distinguish immediate vs. Long-term effects of concussion on balance control. *Journal Of Neuroengineering And Rehabilitation, 6*, 25-25. doi: 10.1186/1743-0003-6-25

- Catena, R. D., van Donkelaar, P., & Chou, L.-S. (2011). The effects of attention capacity on dynamic balance control following concussion. *Journal Of Neuroengineering And Rehabilitation*, 8, 8-8. doi: 10.1186/1743-0003-8-8
- Catena, R. D., van Donkelaar, P., Halterman, C. I., & Chou, L.-S. (2009). Spatial orientation of attention and obstacle avoidance following concussion. *Experimental Brain Research*, 194(1), 67-77. doi: 10.1007/s00221-008-1669-1
- Chou, L.-S., Kaufman, K. R., Walker-Rabatin, A. E., Brey, R. H., & Basford, J. R. (2004). Dynamic instability during obstacle crossing following traumatic brain injury. *Gait & Posture*, 20(3), 245-254.
- Corrigan, J. D. (2001). Conducting statewide needs assessments for persons with traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil*, 16(1), 1-19.
- Cossette, I., Ouellet, M.-C., & McFadyen, B. J. (2014). A preliminary study to identify locomotor-cognitive dual tasks that reveal persistent executive dysfunction after mild traumatic brain injury. *Archives Of Physical Medicine And Rehabilitation*, 95(8), 1594-1597. doi: 10.1016/j.apmr.2014.03.019
- Defense, D. o. V. A. D. o. (2009). Va/dod clinical practice guideline for management of concussion/mild traumatic brain injury. *Rehabil Res Dev*, 46(6), CPI-68.
- DeMatteo, C., Stazyk, K., Singh, S. K., Giglia, L., Hollenberg, R., Malcolmson, C. H., . . . McCauley, D. (2015). Development of a conservative protocol to return children and youth to activity following concussive injury. *Clinical Pediatrics*, 54(2), 152-163. doi: 10.1177/0009922814558256

- Duncan, P. W., Sullivan, K. J., Behrman, A. L., Azen, S. P., Wu, S. S., Nadeau, S. E., . . . Hayden, S. K. (2011). Body-weight-supported treadmill rehabilitation after stroke. *The New England Journal Of Medicine*, *364*(21), 2026-2036. doi: 10.1056/NEJMoa1010790
- Eckner, J. T., Oh, Y. K., Joshi, M. S., Richardson, J. K., & Ashton-Miller, J. A. (2014). Effect of neck muscle strength and anticipatory cervical muscle activation on the kinematic response of the head to impulsive loads. *The American Journal Of Sports Medicine*, *42*(3), 566-576. doi: 10.1177/0363546513517869
- Fait, P., McFadyen, B. J., Swaine, B., & Cantin, J. F. (2009a). Alterations to locomotor navigation in a complex environment at 7 and 30 days following a concussion in an elite athlete. *Brain Inj*, *23*(4), 362-369. doi: 10.1080/02699050902788485
- Fait, P., McFadyen, B. J., Swaine, B., & Cantin, J. F. (2009b). Alterations to locomotor navigation in a complex environment at 7 and 30 days following a concussion in an elite athlete. *Brain Injury*, *23*(4), 362-369. doi: 10.1080/02699050902788485
- Fait, P., Swaine, B., Cantin, J.-F., Leblond, J., & McFadyen, B. J. (2013). Altered integrated locomotor and cognitive function in elite athletes 30 days postconcussion: A preliminary study. *J Head Trauma Rehabil*, *28*(4), 293-301. doi: 10.1097/HTR.0b013e3182407ace
- Gadoury M. (2001). Cadre de référence clinique pour l'élaboration de programmes de réadaptation pour la clientèle ayant subi un traumatisme cranio-cérébral. *Société de l'assurance automobile du Québec., adultes. 2 éd.*

- Gagnon, I., Galli, C., Friedman, D., Grilli, L., & Iverson, G. L. (2009). Active rehabilitation for children who are slow to recover following sport-related concussion. *Brain Injury, 23*(12), 956-964. doi: 10.3109/02699050903373477
- Gardiner, M., Smith, M. L., Kågström, E., Shohami, E., & Siesjö, B. K. (1982). Influence of blood glucose concentration on brain lactate accumulation during severe hypoxia and subsequent recovery of brain energy metabolism. *Journal Of Cerebral Blood Flow And Metabolism: Official Journal Of The International Society Of Cerebral Blood Flow And Metabolism, 2*(4), 429-438.
- Ghaffar, O., McCullagh, S., Ouchterlony, D., & Feinstein, A. (2006). Randomized treatment trial in mild traumatic brain injury. *Journal Of Psychosomatic Research, 61*(2), 153-160.
- Gioia, G. A. (2015). Multimodal evaluation and management of children with concussion: Using our heads and available evidence. *Brain Injury, 29*(2), 195-206. doi: 10.3109/02699052.2014.965210
- Giza, C. C., & Hovda, D. A. (2001). The neurometabolic cascade of concussion. *J Athl Train, 36*(3), 228-235.
- Golden, C. J. (1975). The measurement of creativity by the stroop color and word test. *J Pers Assess, 39*(5), 502.
- Grasso, R., Glasauer, S., Takei, Y., & Berthoz, A. (1996). The predictive brain: Anticipatory control of head direction for the steering of locomotion. *Neuroreport, 7*(6), 1170-1174.

- Gross, C. G. (2007). The discovery of motor cortex and its background. *Journal Of The History Of The Neurosciences*, 16(3), 320-331.
- Hahn, B., Wolkenberg, F. A., Ross, T. J., Myers, C. S., Heishman, S. J., Stein, D. J., . . . Stein, E. A. (2008). Divided versus selective attention: Evidence for common processing mechanisms. *Brain Research*, 1215, 137-146. doi: 10.1016/j.brainres.2008.03.058
- Hanson, E., Stracciolini, A., Mannix, R., & Meehan, W. P., 3rd. (2014). Management and prevention of sport-related concussion. *Clinical Pediatrics*, 53(13), 1221-1230. doi: 10.1177/0009922813518429
- Henry, L. C., Tremblay, J., Tremblay, S., Lee, A., Brun, C., Lepore, N., . . . Lassonde, M. (2011). Acute and chronic changes in diffusivity measures after sports concussion. *Journal Of Neurotrauma*, 28(10), 2049-2059. doi: 10.1089/neu.2011.1836
- Henry, L. C., Tremblay, S., Leclerc, S., Khiat, A., Boulanger, Y., Elleberg, D., & Lassonde, M. (2011). Metabolic changes in concussed american football players during the acute and chronic post-injury phases. *BMC Neurology*, 11, 105-105. doi: 10.1186/1471-2377-11-105
- Hooper, S. L. (2000). Central pattern generators. *Current Biology: CB*, 10(5), R176-R176.
- Howell, D. R., Osternig, L. R., & Chou, L.-S. (2013). Dual-task effect on gait balance control in adolescents with concussion. *Archives Of Physical Medicine And Rehabilitation*, 94(8), 1513-1520. doi: 10.1016/j.apmr.2013.04.015

- Howell, D. R., Osternig, L. R., & Chou, L.-S. (2014). Return to activity after concussion affects dual-task gait balance control recovery. *Medicine And Science In Sports And Exercise*.
- Howell, D. R., Osternig, L. R., & Chou, L.-S. (2015). Adolescents demonstrate greater gait balance control deficits after concussion than young adults. *The American Journal Of Sports Medicine*, 43(3), 625-632. doi: 10.1177/0363546514560994
- Hynes, L. M., & Dickey, J. P. (2006). Is there a relationship between whiplash-associated disorders and concussion in hockey? A preliminary study. *Brain Injury*, 20(2), 179-188.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1 Pt 2), S103-S109.
- Kraus, J. F., McArthur, D. L., & Silberman, T. A. (1994). Epidemiology of mild brain injury. *Seminars In Neurology*, 14(1), 1-7.
- Langlois JA, R.-B. W., Thomas KE. (2004). Traumatic brain injury in the united states: Emergency department visits, hospitalizations, and deaths. (Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control).
- Langlois, J. A., Rutland-Brown, W., & Wald, M. M. (2006). The epidemiology and impact of traumatic brain injury: A brief overview. *J Head Trauma Rehabil*, 21(5), 375-378.
- Lee, S. J., & Hidler, J. (2008). Biomechanics of overground vs. Treadmill walking in healthy individuals. *Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 104(3), 747-755.

- Lovell, M. R., Collins, M. W., Iverson, G. L., Johnston, K. M., & Bradley, J. P. (2004). Grade 1 or "ding" concussions in high school athletes. *The American Journal Of Sports Medicine*, 32(1), 47-54.
- Maclellan, M. J., & McFadyen, B. J. (2010). Segmental control for adaptive locomotor adjustments during obstacle clearance in healthy young adults. *Experimental Brain Research*, 202(2), 307-318. doi: 10.1007/s00221-009-2133-6
- Marcotte AC, G. M. e. C. (2005). Orientations ministérielles pour le traumatisme craniocérébral léger 2005-2010. *Gouvernement du Québec*.
- Maroon, J. C., Lovell, M. R., Norwig, J., Podell, K., Powell, J. W., & Hartl, R. (2000). Cerebral concussion in athletes: Evaluation and neuropsychological testing. *Neurosurgery*, 47(3), 659-669.
- Marshall, C. M. (2012). Sports-related concussion: A narrative review of the literature. *The Journal Of The Canadian Chiropractic Association*, 56(4), 299-310.
- Martini, D. N., Sabin, M. J., DePesa, S. A., Leal, E. W., Negrete, T. N., Sosnoff, J. J., & Broglio, S. P. (2011). The chronic effects of concussion on gait. *Archives Of Physical Medicine And Rehabilitation*, 92(4), 585-589. doi: 10.1016/j.apmr.2010.11.029
- Matsas, A., Taylor, N., & McBurney, H. (2000). Knee joint kinematics from familiarised treadmill walking can be generalised to overground walking in young unimpaired subjects. *Gait & Posture*, 11(1), 46-53.
- McCrea, M., Guskiewicz, K. M., Marshall, S. W., Barr, W., Randolph, C., Cantu, R. C., . . . Kelly, J. P. (2003). Acute effects and recovery time following concussion in

- collegiate football players: The ncaa concussion study. *JAMA*, 290(19), 2556-2563.
- McCrorry, P., Davis, G., & Makdissi, M. (2012). Second impact syndrome or cerebral swelling after sporting head injury. *Current Sports Medicine Reports*, 11(1), 21-23. doi: 10.1249/JSR.0b013e3182423bfd
- McCrorry, P., Meeuwisse, W., Aubry, M., Cantu, B., Dvořák, J., Echemendia, R., . . . Turner, M. (2013). Consensus statement on concussion in sport - the 4th international conference on concussion in sport held in zurich, november 2012. *Physical Therapy In Sport: Official Journal Of The Association Of Chartered Physiotherapists In Sports Medicine*, 14(2), e1-e13. doi: 10.1016/j.ptsp.2013.03.002
- McCrorry, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., . . . Vos, P. E. (2017). Consensus statement on concussion in sport-the 5th international conference on concussion in sport held in berlin, october 2016. *British Journal Of Sports Medicine*. doi: 10.1136/bjsports-2017-097699
- McKeever, C. K., & Schatz, P. (2003). Current issues in the identification, assessment, and management of concussions in sports-related injuries. *Applied Neuropsychology*, 10(1), 4-11.
- Morin, M., Langevin, P., & Fait, P. (2016). Cervical spine involvement in mild traumatic brain injury: A review. *Journal Of Sports Medicine (Hindawi Publishing Corporation)*, 2016, 1590161-1590161. doi: 10.1155/2016/1590161

- Nelson, L. D., Guskiewicz, K. M., Barr, W. B., Hammeke, T. A., Randolph, C., Ahn, K. W., . . . McCrea, M. A. (2016). Age differences in recovery after sport-related concussion: A comparison of high school and collegiate athletes. *J Athl Train*, *51*(2), 142-152. doi: 10.4085/1062-6050-51.4.04
- Network, S. I. G. (2013). Brain injury rehabilitation in adults edinburgh(130).
- .
- Ommaya, A. K., Goldsmith, W., & Thibault, L. (2002). Biomechanics and neuropathology of adult and paediatric head injury. *British Journal Of Neurosurgery*, *16*(3), 220-242.
- Osimani, A., Alon, A., Berger, A., & Abarbanel, J. M. (1997). Use of the stroop phenomenon as a diagnostic tool for malingering. *Journal Of Neurology, Neurosurgery, And Psychiatry*, *62*(6), 617-621.
- Parker, T. M., Osternig, L. R., Lee, H.-J., Donkelaar, P. v., & Chou, L.-S. (2005). The effect of divided attention on gait stability following concussion. *Clinical Biomechanics*, *20*(4), 389-395. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2004.12.004>
- Parker, T. M., Osternig, L. R., Van Donkelaar, P., & Chou, L.-S. (2006). Gait stability following concussion. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, *38*(6), 1032-1040.
- Pashler, H. (1998). Attention. *Psychology Press*.

- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review Of Neuroscience*, 35, 73-89. doi: 10.1146/annurev-neuro-062111-150525
- R.A Schmidt. (1988). Motor control and learning: A behavioral emphasis. *Champaign, IL: Human Kinetics*.
- Register-Mihalik, J. K., Littleton, A. C., & Guskiewicz, K. M. (2013). Are divided attention tasks useful in the assessment and management of sport-related concussion? *Neuropsychology Review*, 23(4), 300-313. doi: 10.1007/s11065-013-9238-1
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol. , Rev.* 82, 225-260. doi: 10.1037/h0076770.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2008). Motor learning and performance : A situation-based learning approach. *Champaign, Ill. : Human Kinetics*.
- Schneiders, A. G., Sullivan, S. J., O'Malley, K. J., Clarke, S. V., Knappstein, S. A., & Taylor, L. J. (2010). A valid and reliable clinical determination of footedness. *PM & R: The Journal Of Injury, Function, And Rehabilitation*, 2(9), 835-841. doi: 10.1016/j.pmrj.2010.06.004
- Scorza, K. A., Raleigh, M. F., & O'Connor, F. G. (2012). Current concepts in concussion: Evaluation and management. *American Family Physician*, 85(2), 123-132.
- Shaw, N. A. (2002). The neurophysiology of concussion. *Progress In Neurobiology*, 67(4), 281-344.

- Shik, M. L., & Orlovsky, G. N. (1976). Neurophysiology of locomotor automatism. *Physiological Reviews*, 56(3), 465-501.
- Shoemaker, K. (1985). Animating rotation with quaternion curves *The Singer Company Link Flight Simulation Division Volume 19, Number 3, 1985*
- Solomon G, J. K., Lovell M. . (2006). He heads-up on sport concussion. *Human kinetics. Champaign, IL*.
- Sparrow, W. A., Begg, R. K., & Parker, S. (2006). Aging effects on visual reaction time in a single task condition and when treadmill walking. *Motor Control*, 10(3), 201-211.
- Sparrow, W. A., Begg, R. K., & Parker, S. (2008). Variability in the foot-ground clearance and step timing of young and older men during single-task and dual-task treadmill walking. *Gait & Posture*, 28(4), 563-567. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.03.013
- Stovitz, S. D., Weseman, J. D., Hooks, M. C., Schmidt, R. J., Koffel, J. B., & Patricios, J. S. (2017). What definition is used to describe second impact syndrome in sports? A systematic and critical review. *Current Sports Medicine Reports*, 16(1), 50-55. doi: 10.1249/JSR.00000000000000326
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Stuss, D. T., Floden, D., Alexander, M. P., Levine, B., & Katz, D. (2001). Stroop performance in focal lesion patients: Dissociation of processes and frontal lobe lesion location. *Neuropsychologia*, 39(8), 771-786.

- Taylor, N. F., Evans, O. M., & Goldie, P. A. (1996). Angular movements of the lumbar spine and pelvis can be reliably measured after 4 minutes of treadmill walking. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, *11*(8), 484-486.
- Teasdale, G., & Jennett, B. (1974). Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. *Lancet (London, England)*, *2*(7872), 81-84.
- Teasdale, G., & Jennett, B. (1976). Assessment and prognosis of coma after head injury. *Acta Neurochirurgica*, *34*(1-4), 45-55.
- Thurman, D., & Guerrero, J. (1999). Trends in hospitalization associated with traumatic brain injury. *JAMA*, *282*(10), 954-957.
- van Balen, H. G., Mulder, T., & Keyser, A. (1996). Towards a disability-oriented epidemiology of traumatic brain injury. *Disability And Rehabilitation*, *18*(4), 181-190.
- van Hedel, H. J. A., Biedermann, M., Erni, T., & Dietz, V. (2002). Obstacle avoidance during human walking: Transfer of motor skill from one leg to the other. *The Journal Of Physiology*, *543*(Pt 2), 709-717.
- Van Houten, W. H., & Friede, R. L. (1961). Histochemical studies of experimental demyelination produced with cyanide. *Experimental Neurology*, *4*, 402-412.
- Warren, W. H., Jr., Kay, B. A., Zosh, W. D., Duchon, A. P., & Sahuc, S. (2001). Optic flow is used to control human walking. *Nature Neuroscience*, *4*(2), 213-216.
- White, S. C., Yack, H. J., Tucker, C. A., & Lin, H. Y. (1998). Comparison of vertical ground reaction forces during overground and treadmill walking. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, *30*(10), 1537-1542.

- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449-455.
- Williams, R. M., Puetz, T. W., Giza, C. C., & Broglio, S. P. (2015). Concussion recovery time among high school and collegiate athletes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(6), 893-903. doi: 10.1007/s40279-015-0325-8
- Willis, W. (1989). Neurological models of cognitive processing. Learning and individual differences., ;1(4):371-383. .
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16(1), 1-14.
- Zehr, E. P., & Stein, R. B. (1999). What functions do reflexes serve during human locomotion? *Progress In Neurobiology*, 58(2), 185-205.
- Zhang, A. L., Sing, D. C., Rugg, C. M., Feeley, B. T., & Senter, C. (2016). The rise of concussions in the adolescent population. *Orthopaedic Journal Of Sports Medicine*, 4(8), 2325967116662458-2325967116662458. doi: 10.1177/2325967116662458
- Zuckerman, S. L., Kerr, Z. Y., Yengo-Kahn, A., Wasserman, E., Covassin, T., & Solomon, G. S. (2015). Epidemiology of sports-related concussion in ncaa athletes from 2009-2010 to 2013-2014: Incidence, recurrence, and mechanisms. *The American Journal Of Sports Medicine*, 43(11), 2654-2662. doi: 10.1177/0363546515599634

## **ANNEXE A**

Test de validité et de reproductibilité de la vitesse du tapis roulant

## **COMPLÉMENTAIRE 1: TEST DE VALIDITÉ ET DE REPRODUCTIBILITÉ DE LA VITESSE DU TAPIS ROULANT**

Le test a pour objectif de valider la vitesse réelle du tapis roulant en s'attardant à la justesse des mesures récoltées. Le tout se fait par mesure comparé entre la moyenne des vitesses récoltées (essais) et celle indiquée par le fabricant sur le panneau de contrôle du tapis roulant (Precor USA 9,5 Low-Impact, USA). La répétabilité entre deux essais est aussi vérifiée afin de s'assurer de la précision de notre technique de validation.

La caméra (Polaris spectra optical tracking system) a été placée de manière à ce qu'elle soit à niveau et parfaitement perpendiculaire avec l'orientation du tapis roulant. Deux marqueurs réfléchissants ont été positionnés sur le côté du tapis sur le même axe à égal distance de la caméra. Les marqueurs se trouvaient distancés afin d'être aux deux extrémités du champ de vision de la caméra. Un troisième marqueur libre positionné sur un objet rigide déambulait d'une extrémité à l'autre sur le tapis roulant en marche. Celui-ci se voyait contraint de croiser les deux marqueurs libres statiques positionnés sur le côté du tapis roulant à une distance de 1 mètre l'un de l'autre. De ce fait, un calcul de vitesse a été effectué en prenant la distance parcourue entre les deux marqueurs statiques par le marqueur dynamique en fonction du temps écoulé. Le test a été effectué à quatre vitesses différentes, soit : 1,5 km/h, 2,5 km/h, 3,5 km/h et 4,5 km/h. De plus, chacune des collectes de données ont été réalisées avec participant et sans participant sur le tapis afin de s'assurer que le poids d'une personne n'intervient pas dans la validité de la vitesse du tapis roulant.

Tableau 3 :

Test de validité et de la reproductibilité du tapis roulant

Vitesse (tapis)	Tapis roulant seul		Tapis roulant avec une personne
	1	2	3
1,5 km/h	1,49	1,56	1,47
2,5 km/h	2,49	2,48	2,48
3,5 km/h	3,54	3,53	3,51
4,5 km/h	4,47	4,52	4,48

Tableau 4 :

Erreur du test de validité et de la reproductibilité du tapis roulant

<b>Vitesse (tapis)</b>	<b>Erreurs (Tapis roulant seul)</b>		<b>Erreurs (Tapis roulant avec une personne)</b>
	1	2	3
1,5 m/h	0,01	0,06	0,03
2,5 m/h	0,01	0,02	0,02
3,5 m/h	0,04	0,03	0,01
4,5 m/h	0,03	0,02	0,02

## **ANNEXE B**

Questionnaire téléphonique

Prise de rendez-vous et aspects importants

## QUESTIONNAIRE TÉLÉPHONIQUE

UQTR



Université du Québec  
à Trois-Rivières

**Vers de nouvelles méthodes d'évaluation après d'enfants et adolescents ayant subi une commotion cérébrale**

### QUESTIONNAIRE TÉLÉPHONIQUE ET VALIDÉ EN PERSONNE

- Date de passation du questionnaire (jj/mm/aaaa) : / / \_\_\_\_\_
- Type de volontaire : TCCL AS

Section 1 – Informations biométriques						
Questions	Précisions		Admission			
			Oui	Non		
1. Quelle est votre âge et votre date de naissance ?	Âge : _____ (Entre 10 et 17 ans)	Date : _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2. Êtes-vous de sexe féminin ou masculin?	Sexe : F <input type="checkbox"/>	M <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Section 2 - Condition générale						
Questions	Réponses		Précisions		Admission	
	Oui	Non			Oui	Non

<p><b>4. Est-ce qu'un professionnel de la santé vous a déjà diagnostiqué ou savez-vous si vous avez l'une des conditions suivantes :</b></p>			
<p>a) As-tu une référence médicale avec diagnostic de TCCL ou commotion cérébrale?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
<p>b) À quand remonte l'impact à la tête ? (délai maximal de 2 semaines entre l'accident et l'évaluation en laboratoire)</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>Temps : _____</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>c) As-tu déjà subi une commotion cérébrale (autre que celle qui est actuelle)? Si oui, depuis combien de temps? (exclusion TCCL si plus de 2 en moins de 6 mois)</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>d) As-tu déjà subi une commotion cérébrale modérée ou grave et/ou une fracture du crâne?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>≤ 3 mois <input type="checkbox"/></p> <p>&gt; 3 mois <input type="checkbox"/></p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>e) As-tu une d'autres atteintes pouvant nuire aux évaluations? (ex : fracture, malformations quelconques, syndrome de Gille de la Tourette, neuropathie diabétique ou périphérique)</p>			
<p>f) As-tu un problème autre que physique comme :(trouble d'apprentissage, trouble de la personnalité, TDAH, trouble du langage, Hx de dépression, etc.) et prise de médicament pouvant nuire au contrôle moteur ou à la récupération?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<p>g) Des problèmes d'équilibre ou de</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

<p>vertiges au quotidien (p. ex. labyrinthite, syndrome de Ménière, etc.)? Si oui, peux-tu me préciser dans quelle(s) circonstance(s) (en termes de fréquence et de moment d'occurrence) ?</p> <p>h) Des troubles visuels <b>non corrigés</b> qui viennent limiter tes activités de la vie quotidienne ou votre équilibre (p. ex. cataracte, dégénérescence maculaire, etc.)? Ou Daltonien ?</p> <p>i) Toute autre forme de limitations <b>diagnostiquées pouvant nuire à l'étude</b> (pense à tes mdx, cicatrices) ?</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Précision :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
---	---	---	---

### Section 3 – Habitudes et comportement

1. Quel sport pratiques-tu? À quel niveau?  
Position sur le terrain

#### Identification du participant

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_  
 Âge : \_\_\_\_\_ Sexe : F  M   
 Numéros de téléphone Maison : ( ) \_\_\_\_\_ Cellulaire : ( ) \_\_\_\_\_  
 Statut : Éligible Exclusion Abandon  
 Groupe d'appartenance : TCCL AS  
 Membre dominant : D G  
 Code du participant :

**Section 4 – Détermination du membre inférieur dominant**

Effectuer les quatre tâches afin de déterminer le membre inférieur dominant du participant	Tâche 1 : Botter un ballon/balle	Tâche 1 : G / D
	Tâche 2 : Éteindre un feu imaginaire	Tâche 2 : G / D
	Tâche 3 : Prendre une bille au sol avec les orteils	Tâche 3 : G / D
	Tâche 4 : Descendre une marche	Tâche 4 : G / D



## PRISE DE RENDEZ-VOUS ET ASPECTS IMPORTANTS

### Rendez-vous :

#### 1) Première évaluation

- Date : \_\_\_\_\_
- Heure : \_\_\_\_\_

#### 2) Deuxième évaluation

- Date : \_\_\_\_\_
- Heure : \_\_\_\_\_

### Aspects à mentionner au participant :

- Apporter une liste des médicaments qui vous sont prescrit.  
Note : continuez de prendre ceux-ci normalement.
- L'évaluation s'effectuera pieds nus.
- Prévoyez une paire de culottes courtes et un t-shirt
- Ne pas consommer d'alcool ou de drogue autre que la médication régulière 24 heures avant l'évaluation.
- Fournir les explications nécessaires en ce qui a trait au lieu de l'évaluation (adresse, local, stationnement payant, etc.).
  - 3351 Blv. Des Forges, Caps, Clinique Kinésiologie, remise de la vignette de stationnement
- S'assurer que la condition du participant n'a pas changée depuis la passation du questionnaire téléphonique :

« As-tu de nouvelles informations à nous signaler qui n'auraient pas été mentionnées lors de la passation du questionnaire téléphonique complété le (date de passation : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ ) ? »

Réponse : OUI  NON

## **ANNEXE C**

Lettre d'information

## LETTRÉ D'INFORMATION

Vers de nouvelles méthodes d'évaluation auprès d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme craniocérébral léger (commotion cérébrale).

### **Responsables du projet**

- Zachary Beaudet, Étudiant à la maîtrise en sciences de l'activité physique \*
- Nour Saade, Étudiant au Doctorat en sciences biomédicales \*
- Karine Boivin, PhD, Professeure régulier \*
- Philippe Fait, PhD, ATC, CAT(C), Professeur régulier \*

\*Département des Sciences de l'activité physique de l'UQTR

Votre participation à la recherche, qui vise à identifier des variables permettant de détecter les altérations fonctionnelles chez les enfants et adolescents ayant subi un traumatisme craniocérébral léger (TCCL) aussi appelé commotion cérébrale, serait grandement appréciée.

### **Objectifs**

Les objectifs de ce projet de recherche sont d'identifier la combinaison la plus sensible de facteurs environnementaux et de variables permettant de détecter les altérations fonctionnelles cognitivomotrices chez les enfants et adolescents ayant subi un TCCL et après avoir établi les facteurs les plus sensibles dans le continuum d'âge ciblé (10-17 ans), élaborer un outil d'évaluation clinique (batterie de tests) sensible au TCCL. Les renseignements donnés dans cette lettre d'information visent à vous aider à comprendre exactement ce qu'implique votre éventuelle participation à la recherche et à prendre une décision éclairée à ce sujet. Nous vous demandons donc de lire le formulaire de consentement attentivement et de poser toutes les questions que vous souhaitez poser. Vous pouvez prendre tout le temps dont vous avez besoin avant de prendre votre décision.

### Tâche du participant

Votre participation à ce projet de recherche consiste à suivre les directives des professionnels de santé pour remplir les questionnaires et participer à l'évaluation de votre condition lors des rencontres. Voici un aperçu des rencontres avec les professionnels :

1. Rencontre d'évaluation initiale (120 minutes).
2. Rencontre de suivi 2 semaines plus tard (120 minutes)

Les visites auront lieu à la Clinique de kinésiologie de l'UQTR et au laboratoire de biomécanique du département des sciences de l'activité physique.

Lors de ces deux rencontres, plusieurs mesures seront prises:

Mesure	Objectif/Explication
<i>Questionnaire des symptômes postcommotionnels</i>	Consiste à remplir un questionnaire sur les symptômes reliés au TCCL (commotion cérébrale)
<i>Échelle sur la confiance en son équilibre</i>	Mesure la confiance en son équilibre lors de tâche dynamique
<i>Test King-Devick</i>	Mesure des saccades oculaires. Lecture à haute voix d'une série de nombres à un chiffre de gauche à droite le plus vite possible sans erreur à l'aide d'une tablette iPad.
<i>Tâche de repositionnement cervical</i>	Évalue la fonction sensorimotrice cervicale qui consiste à retrouver une position de la tête neutre après avoir effectué un mouvement de pleine amplitude vers la gauche et vers la droite.
<i>Test sur tapis roulant</i>	Consiste à une évaluation sur tapis roulant en marchant avec une tâche cognitive.

Lors de la deuxième rencontre, les tests que vous avez effectués en début d'étude seront reconduits pour permettre une comparaison.

**Risques, inconvénients, inconforts**

Il y a pratiquement aucun risque associé à cette étude. Le niveau de risque est comparable à la pratique de toute activité de la vie courante. Le test implique des mouvements modérés et il est administré sous-surveillance. Le temps consacré au projet représente pour certain un inconvénient. Un inconfort transitoire entraîné par une augmentation des symptômes de TCCL à l'effort pourrait survenir. C'est pourquoi l'activité physique est dépendante des symptômes et que celle-ci sera interrompue en cas d'augmentation ou d'apparition des symptômes spécifiques au TCCL.

**Bénéfices**

Il n'y a aucun avantage direct à participer à la recherche. Par ailleurs, les participants auront la satisfaction d'avoir contribué à l'avancement des connaissances pour aider à un meilleur suivi en santé des personnes vivant avec les impacts d'un TCCL. Aucune compensation d'ordre monétaire n'est accordée, mais pour vous dédommager du temps que vous accorderez à ce projet et des déplacements que vous aurez à effectuer pour participer au projet, les frais de stationnement seront remboursés.

**Confidentialité**

Les données recueillies par cette étude sont entièrement confidentielles et ne pourront en aucun cas mener à votre identification. Votre confidentialité sera assurée par l'attribution d'un code numérique aléatoire propre à chacun des participants. Les résultats de la recherche, qui pourront être diffusés sous forme de publications scientifiques, thèse et présentations lors de congrès, ne permettront pas d'identifier les participants.

Les données recueillies seront conservées sous clé à la clinique de kinésiologie de l'Université du Québec à Trois-Rivières et les seules personnes qui y auront accès seront les chercheurs de ce projet, M. Zachary Beaudet, M. Nour Saade, Dr Philippe Fait, Dre Karine Boivin et Dr Martin Descarreaux. Les données seront détruites 5 ans suivant la fin de l'étude et ne seront pas utilisées à d'autres fins que celles décrites dans le présent document.

**Participation volontaire**

Votre participation à cette étude se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non et de vous retirer en tout temps sans préjudice et sans avoir à fournir d'explications. Advenant l'arrêt de votre participation à l'étude, votre suivi médical se poursuivra dans sa totalité sans préjudices. Les responsables de l'étude se réservent aussi la possibilité de retirer un participant en lui fournissant des explications sur cette décision.

### **Responsables de la recherche**

Pour obtenir de plus amples renseignements ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le Dr Philippe Fait par courrier électronique ou par téléphone ([philippe.fait@uqtr.ca](mailto:philippe.fait@uqtr.ca) ou 819-376-5011, poste 3768).

### **Questions ou plainte concernant l'éthique de la recherche**

Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières et un certificat portant le numéro CER-14-204-07.26 a été émis le 16 septembre 2014.

Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, vous devez communiquer avec la secrétaire du comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières, par téléphone (819) 376-5011, poste 2129 ou par courrier électronique [CEREH@uqtr.ca](mailto:CEREH@uqtr.ca).

## **ANNEXE D**

Formulaire de consentement

## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

### Engagement du chercheur

Moi, \_\_\_\_\_,  
m'engage à procéder à cette étude conformément à toutes les normes éthiques  
qui s'appliquent aux projets comportant la participation de sujets humains.

### Assentiment du participant

Je, \_\_\_\_\_,  
confirme avoir lu et compris la lettre d'information au sujet du projet ***Vers de nouvelles méthodes d'évaluation auprès d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme craniocérébral léger.*** J'ai bien saisi les conditions, les risques et les bienfaits éventuels de ma participation. On a répondu à toutes mes questions à mon entière satisfaction. J'ai disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ou non à cette recherche. Je comprends que ma participation est entièrement volontaire et que je peux décider de me retirer en tout temps, sans aucun préjudice.

### Consentement du parent ou tuteur

Je, \_\_\_\_\_,  
confirme avoir lu et compris la lettre d'information au sujet du projet ***Vers de nouvelles méthodes d'évaluation auprès d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme craniocérébral léger.*** J'ai bien saisi les conditions, les risques et les bienfaits éventuels de ma participation et de la participation de mon enfant. On a répondu à toutes mes questions à mon entière satisfaction. J'ai disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ou non à cette recherche. Je comprends que la participation est entièrement volontaire et que je peux décider de retirer mon enfant en tout temps, sans aucun préjudice.

J'accepte d'être recontacté après l'étude si jamais les chercheurs voulaient utiliser les données recueillies ultérieurement :

OUI

NON

**J'accepte donc librement de participer à ce projet de recherche:**

<b>Participant(e) ou participant :</b>	<b>Chercheur :</b>
Signature :	Signature :
Nom :	Nom :
Date :	Date :
<b>Parent ou tuteur :</b>	
Signature :	
Nom :	
Date :	

Protocole biomécanique

Code du participant : \_\_\_\_\_

Date : (J/M/A) \_\_/\_\_/\_\_

Évaluateur présent : \_\_\_\_\_

## **ANNEXE E**

Affiche de recrutement pour le groupe expérimental

## PARTICIPANTS RECHERCHÉS

---

Invitation à participer au projet de recherche :

**Vers de nouvelles méthodes d'évaluation auprès d'enfants et d'adolescents ayant subi une commotion cérébrale.**

Ce projet vise à mieux identifier la combinaison la plus sensible de facteurs et de variables permettant de détecter les altérations fonctionnelles chez les enfants et adolescents ayant subi une commotion cérébrale.

Ce projet est présentement en cours à la *Clinique Universitaire de kinésiologie de l'UQTR* à Trois-Rivières, 3351 boul. des Forges Trois-Rivières (Québec).

### Critères d'admissibilité

#### Critères d'inclusion

- Âgé de 10 à 17 ans.
- Référence médicale avec diagnostic de TCCL ou commotion cérébrale.

#### Critères d'exclusion

- Avoir subi une commotion cérébrale dans les 6 mois précédents l'évènement faisant l'objet de l'étude (plus de 2 commotions en moins de 6 mois).
- Avoir subi un TCC modéré ou grave et/ou une fracture de la boîte crânienne.
- Avoir une atteinte musculosquelettique ou neurologique pouvant nuire à l'étude.
- Avoir un problème cognitif ou comportemental (trouble d'apprentissage, trouble de la personnalité, TDAH, trouble du langage, Hx de dépression, etc.)
- Prendre des médicaments pouvant nuire au contrôle moteur ou à la récupération.

**Pour nous joindre ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Zachary Beudet (zachary.beudet@uqtr.ca) 819-376-5011, poste 3797 ou Dr Philippe Fait (philippe.fait@uqtr.ca) 819-376-5011, poste 3768.**

## **ANNEXE F**

Affiche de recrutement pour le groupe témoin

## PARTICIPANTS RECHERCHÉS

---

Invitation à participer au projet de recherche :

**Vers de nouvelles méthodes d'évaluation auprès d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme craniocérébral léger (commotion cérébrale).**

Ce projet vise à mieux identifier la combinaison la plus sensible de facteurs et de variables permettant de détecter les altérations fonctionnelles chez les enfants et adolescents ayant subi une commotion cérébrale.

Ce projet est présentement en cours à la *Clinique Universitaire de kinésiologie de l'UQTR* à Trois-Rivières, 3351 boul. des Forges Trois-Rivières (Québec).

### Critères d'admissibilité

#### Critères d'inclusion

- **Âgé de 10 à 17 ans.**
- **Ne doit pas avoir subi de Traumatisme craniocérébral léger (commotion cérébrale).**

#### Critères d'exclusion

- Avoir une atteinte musculosquelettique ou neurologie pouvant nuire à l'étude.
- Avoir un problème cognitif ou comportemental (trouble d'apprentissage, trouble de la personnalité, TDAH, trouble du langage, Hx de dépression, etc.)
- Prendre des médicaments pouvant nuire au contrôle moteur ou à la récupération.

**Pour nous joindre ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Zachary Beudet (zachary.beudet@uqtr.ca) 819-376-5011, poste 3797 ou Dr Philippe Fait (philippe.fait@uqtr.ca) 819-376-5011, poste 3768.**

## **ANNEXE G**

Inventaire des symptômes post-commotion

# INVENTAIRE DES SYMPTÔMES POST-COMMOTION

TRADUCTION du Post-Concussion Symptom Inventory (PCSI) 13-18 ans

Nom \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

DDN \_\_\_\_\_ Age \_\_\_\_\_

**Instructions :** Nous voulons savoir si tu as ressenti un de ces symptômes avant ta blessure. Ensuite, nous voulons savoir si ces symptômes ont changé après ta blessure. Évalue tes symptômes tels que ressenti avant ta blessure puis tels que ressenti actuellement.

Répond à tous les items au meilleur de tes capacités. Encerle le nombre correspondant à l'importance du problème causé par ce symptôme pour toi.

**0= Aucun problème 3= Problème modéré 6= Problème sévère**

		Avant la blessure	Actuellement (hier et aujourd'hui)
1	Mal de tête	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
2	Nausée(s)	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
3	Problèmes d'équilibre	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
4	Étourdissements	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
5	Fatigue	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
6	Somnolence	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
7	Sensibilité à la lumière	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
8	Sensibilité au bruit	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
9	Irritabilité	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
10	Tristesse	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
11	Nervosité	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
12	Se sentir plus émotif	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
13	Se sentir au ralenti	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
14	Sensation d'être « dans le brouillard »	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6

15	Problème de concentration	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
16	Problème de mémoire	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
17	Troubles de vision (vision double, vision floue)	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
18	Confusion (Se confondre suite à des directives ou des tâches)	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
19	Se déplacer maladroitement	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
20	Répondre aux questions plus lentement qu'à l'habitude	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
21	En général, à quel degré te sens-tu différent (e) par rapport à la normale? (ne pas se sentir soi-même)	<b>0 1 2 3 4</b> <i>Encerclez le chiffre correspondant à l'importance de la différence ou « 0 » indique « Normal » (aucune différence) et « 4 » indique « très différent »</i>	

TRADUCTION du Post-Concussion Symptom Inventory (PCSI) 5-12 ans

Nom \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

DDN \_\_\_\_\_ Age \_\_\_\_\_

**Instructions** : Nous voulons savoir si tu as ressenti un de ces symptômes avant ta blessure. Ensuite, nous voulons savoir si ces symptômes ont changé après ta blessure.

Je vais te demander d'évaluer tes symptômes tels que ressentis avant ta blessure puis tels que ressentis hier/aujourd'hui. Évaluateur : Encerchez le chiffre correspondant à la réponse du sujet.

	<i>0= Non 1= Un peu 2= Beaucoup</i>	<b>Avant la blessure</b>	<b>Actuellement (hier et aujourd'hui)</b>
1	As-tu parfois mal à la tête? As-tu mal à la tête?	0 1 2	0 1 2
2	As-tu mal au cœur (nausée)?	0 1 2	0 1 2
3	Est-tu étourdi (e)? (comme si les objets autour de toi bougent/tournent)	0 1 2	0 1 2
4	Te sens-tu grincheux/irritable? (comme si tu es de mauvaise humeur)	0 1 2	0 1 2
5	Est-il difficile pour toi de te concentrer (porter attention) sur ce que tu fais? (devoirs, écouter quelqu'un, jouer à un jeu ...)	0 1 2	0 1 2
Continuer si plus de 8 ans seulement (8 ans inclusivement)			
6	Te sens-tu plus endormis/somnolent(e) qu'à l'habitude?	0 1 2	0 1 2
7	Est-ce que la lumière te dérange plus qu'à l'habitude? (Comme lorsque tu es au soleil, que tu regardes une lumière ou lorsque tu regardes la télévision)	0 1 2	0 1 2
8	Est-ce que le bruit te dérange plus qu'à l'habitude? (Comme lorsque des gens discutent, que tu écoutes la télévision ou de la musique forte)	0 1 2	0 1 2
9	Perds-tu l'équilibre quand tu marches, tu cours ou te tiens debout? (Comme si tu allais tomber)	0 1 2	0 1 2
10	Te sens-tu triste?	0 1 2	0 1 2

11	Te sens-tu nerveux (se) ou inquiet (e)?	0 1 2	0 1 2
12	As-tu l'impression de bouger plus lentement?	0 1 2	0 1 2
13	As-tu l'impression de penser/réfléchir plus lentement?	0 1 2	0 1 2
14	Est-il difficile de penser clairement?	0 1 2	0 1 2
15	Te sens-tu plus fatigué qu'à l'habitude?	0 1 2	0 1 2
16	Est-il difficile pour toi de te souvenir? (Comme des choses que tu as entendu ou vu, des endroits où tes es allé)	0 1 2	0 1 2
17	Est-ce que tu vois flou?	0 1 2	0 1 2
21	Te sens-tu différent (e) par rapport à la normale?	0 1 2	

## TRADUCTION du Post-Concussion Symptom Inventory (PCSI) Parents

Nom de l'enfant \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

DDN \_\_\_\_\_ Age \_\_\_\_\_ Niveau scolaire \_\_\_\_\_

Nom du parent ou tuteur \_\_\_\_\_ Relation : Mère \_\_\_ Père \_\_\_ Autre \_\_\_\_\_

**Instructions :** Nous voulons savoir si votre enfant a ressenti un de ces symptômes avant sa blessure. Ensuite, nous voulons savoir si ces symptômes ont changé après sa blessure. Évaluez l'importance des symptômes tels que ressentit par votre enfant avant sa blessure puis tels que ressentit actuellement.

S'il vous plaît, répondre à tous les items au meilleur de vos connaissances. Encerclez le nombre correspondant à l'importance du problème causé par ce symptôme chez votre enfant.

**0= Aucun problème 3= Problème modéré 6= Problème sévère**

	Avant la blessure	Actuellement (hier et aujourd'hui)
1 Se plaint de maux de tête	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
2 Se plaint de nausée	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
3 A des problèmes d'équilibre	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
4 Semble avoir ou se plaint d'étourdissements	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
5 S'emble somnolent	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
6 Dors plus qu'à l'habitude	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
7 Sensibilité à la lumière	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
8 Sensibilité au bruit	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
9 Est irritable	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
10 Semble triste	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
11 Semble nerveux	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
12 Agit plus émotivement	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
13 Agit ou semble mentalement « dans le brouillard »	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6

14	Problème de concentration	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
15	Problème de mémoire	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
16	Se plaint de troubles de vision (vision double, vision floue)	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
17	Semble plus fatigué qu'à l'habitude	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
18	Deviens confus suite à des directives ou des tâches	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
19	Se déplace maladroitement	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
20	Répond aux questions plus lentement qu'à l'habitude	0 1 2 3 4 5 6	0 1 2 3 4 5 6
21	En général, à quel degré votre enfant est différent par rapport à la normale? (n'est pas lui-même)	<p style="text-align: center;"><b>0 1 2 3 4</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Encerlez le chiffre correspondant à l'importance de la différence ou « 0 » indique « Normal » (aucune différence) et « 4 » indique « très différent »</i></p>	

## **ANNEXE H**

Échelles analogiques de confiance en l'équilibre (EVA)

# ÉCHELLES ANALOGIQUES DE CONFIANCE EN L'ÉQUILIBRE (EVA)

Séance :

Code du participant :

C0

Comment est-ce que tu évalues ton **équilibre** à la marche lors du déplacement précédant l'évaluation ?



0 : pas confiant(e)

10 : confiant(e)

Séance :

Code du participant :

C1

Comment est-ce que tu évalues ton **équilibre** à la marche sur le tapis roulant ?



0 : pas confiant(e)

10 : confiant(e)

Séance :

Code du participant :

C2

Comment est-ce que tu évalues ton **équilibre** à la marche sur le tapis roulant tout en effectuant la tâche Stroop?



0 : pas confiant(e)

10 : confiant(e)

Séance :

Code du participant :

C3

Comment est-ce que tu évalues ton **équilibre** à la marche sur le tapis roulant en sachant que tu auras l'obstacle montré à enjamber ?



0 : pas confiant(e)

10 : confiant(e)

Séance :

Code du participant :

C4

Comment est-ce que tu évalues ton **équilibre** à la marche sur le tapis roulant en sachant que diverses conditions vont survenir (juste marcher, marcher et enjamber, marcher et faire la tâche de Stroop ou tout en même temps) ?



0 : pas confiant(e)

10 : confiant(e)

## **ANNEXE I**

Certificat d'éthique de la recherche avec des êtres humains



### CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

**Titre :** Vers de nouvelles méthodes d'évaluation auprès d'enfants et d'adolescents ayant subi un traumatisme craniocérébral léger

**Chercheur(s) :** Philippe Faut  
Département des sciences de l'activité physique

**Organisme(s) :** Fonds de recherche du Québec - Santé

**N° DU CERTIFICAT :** CER-14-204-07.26

**PÉRIODE DE VALIDITÉ :** Du 16 septembre 2017 au 16 septembre 2018

**En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :**

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

  
Bruce Maxwell

Président du comité

  
Sophie Parent

Secrétaire du comité

*Décanat de la recherche et de la création*

Date d'émission : 24 août 2017