

**Analyse biomécanique du risque de traumatisme crânio-
cérébral léger lors de la pratique du soccer**

par

Caroline LECOURS

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAÎTRISE AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE MÉCANIQUE
M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 31 MAI 2017

**ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

© Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Éric Wagnac, directeur de mémoire
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Yvan Petit, codirecteur de mémoire
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. David Labbé, président du jury
Département de génie logiciel et des TI à l'École de technologie supérieure

M. Louis de Beaumont, membre du jury
Département de chirurgie de la Faculté de médecine à l'Université de Montréal

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 15 MAI 2017

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier Éric Wagnac et Yvan Petit pour m'avoir proposé ce projet de maîtrise en lien avec ma passion pour le soccer. Je vous remercie pour votre ouverture d'esprit, vous avez écouté mes idées et laissé construire ce projet stimulant, ce fut très gratifiant. Tout au long de ce projet, vous m'avez offert votre temps, vos conseils et surtout votre confiance, je vous en suis très reconnaissante. Merci spécialement à Éric pour ton support dans mes nombreux moments d'inquiétudes et pour la rapidité de tes actions, ce fut grandement apprécié.

Je remercie Éric Wagnac et Yvan Petit, l'École de technologie supérieure de même que le CRSNG et le FRQNT pour le soutien financier qui m'a permis de me consacrer entièrement au projet de recherche.

Lucien Diotalevi, ton humour et tes nombreuses péripéties ainsi que ton obsession à trouver une chanson pour chacune de tes péripéties ont su me divertir et ensoleiller mes journées. Merci de tes précieux conseils, de tes encouragements au quotidien et aussi de m'avoir écoutée, tu es un ami remarquable. Élisabeth Laroche, merci pour ton aide lors des séances d'acquisition, ce fut une belle après-midi. Tu as proposé ton aide dans tous les aspects de ce projet et tes idées ont permis d'améliorer le projet. Tu as été présente tout au long de ma maîtrise et tu as été une amie extraordinaire, merci pour tout ce que tu as fait pour moi. J'exprime aussi une grande gratitude à Anne-Laure Ménard, pour tout le temps que tu m'as offert et les documents que tu m'as partagés. Grâce à toi, j'ai développé de nouvelles connaissances en statistiques et je n'aurais pas réussi à compléter ce mémoire sans ton aide et tes précieux conseils. Je tiens à remercier Sylvie Gervais, merci pour vos conseils qui ont su me guider tout au long du projet.

Je tiens à remercier ma famille, Pierre, Lucie et Stéphanie pour votre support et vos encouragements tout au long de la maîtrise. Merci spécialement à Pierre pour toutes les idées proposées, et parfois excentriques, qui m'ont aidée à concevoir ce projet. Merci à vous trois

d'avoir cru en moi depuis le début de mon parcours scolaire. Merci à mes grands-parents qui sont toujours plus encourageants chaque jour et qui ne cessent de me dire à quel point ils sont fiers de mon travail, Gaëtan et Hélène, je vous dédie ce mémoire.

Ce projet de maîtrise n'aurait pas été aussi merveilleux sans la présence d'un excellent caméraman et surtout d'un complice extraordinaire. Merci de m'avoir accompagnée et conduite aux multiples séances d'acquisition tard le soir et de les avoir rendus agréables. Merci pour toutes les fois que tu es allé nous chercher des friandises pour nous divertir durant ces longues heures. Merci d'être resté avec moi, lorsqu'il faisait très froid à l'extérieur, de même que lorsque nous nous faisions attaquer par les moustiques et que nous avions terminé la soirée à la pharmacie. Merci d'avoir pris le temps de lire et de relire à maintes reprises toutes les sections du mémoire et de m'avoir donné ton opinion et tes conseils. Merci d'avoir été présent à chaque étape du projet, de m'avoir encouragée, supportée (voire endurée) et écoutée lors des bons moments et des moments plus difficiles. Je ne te remercierais jamais assez pour tout ce que tu as fait pour moi lors de ce projet et depuis plusieurs années, merci à toi, mon complice, ma tendre moitié, Gabriel Felix.

ANALYSE BIOMÉCANIQUE DU RISQUE DE TRAUMATISME CRÂNIO-CÉRÉBRAL LÉGER LORS DE LA PRATIQUE DU SOCCER

Caroline LECOURS

RÉSUMÉ

La pratique du soccer, comme la pratique de tous sports, comporte un risque de blessure. Le traumatisme crânio-cérébral léger (TCCL) est une blessure particulièrement fréquente dans la majorité des sports. Un des mécanismes lésionnels les plus importants du TCCL est l'accélération de la tête. Au soccer, l'accélération de la tête est engendrée par des impacts volontaires (techniques de tête) et des impacts involontaires. Or, dans la littérature actuelle, il existe peu de données sur la cinématique de la tête lors de situations de jeu telles qu'un entraînement ou un match de compétition de soccer. C'est pourquoi l'objectif principal de ce projet de recherche était d'évaluer le risque de TCCL lors de situations de jeu au soccer. Pour répondre à cet objectif, les accélérations de la tête de joueurs et de joueuses de soccer âgés de plus de 18 ans ont été mesurées lors d'entraînements et de matchs de compétition. Ainsi, un total de 8 joueurs évoluant dans la ligue provinciale AAA et un total de 16 joueuses évoluant dans la ligue régionale A ont participé à ce projet de recherche. Les participants ont porté un bandeau instrumenté du SIM-G (Triax Technologies, Norwalk, Ct, É.-U.) permettant la mesure de différents paramètres de la tête, tels que l'accélération linéaire, l'accélération angulaire, la vitesse angulaire et le mouvement de la tête lors d'un impact supérieur à 10g. Ensuite, le risque de TCCL a été identifié en confrontant les amplitudes des accélérations aux critères des seuils de risque de TCCL établis par Zhang, Yang et King (2004) et par Rowson et al. (2012). Les résultats obtenus ont permis d'identifier un plus grand risque de TCCL lors des matchs de compétition comparativement aux entraînements. Aussi, les joueurs et les joueuses ayant le rôle de défenseur ont été plus à risque de subir un TCCL que les joueurs et les joueuses ayant le rôle d'attaquant et de milieu de terrain. Les techniques de tête ont engendré un plus grand risque de TCCL que les impacts involontaires. Ces résultats ont permis d'identifier la présence d'un risque de TCCL lors de la pratique du soccer, et ce, bien que ce sport soit considéré sans contact. Les situations observées au cours de ce projet de recherche ont permis de démontrer l'importance de conscientiser les entraîneurs, les joueurs et les joueuses de même que leurs parents sur le risque de TCCL lors de la pratique du soccer. C'est pourquoi la Fédération de soccer du Québec devrait insister sur le risque, les symptômes et les conséquences des TCCL lors des formations des entraîneurs.

Mots clés : traumatisme crânio-cérébral, commotion cérébrale, accélération de la tête, situation de jeu en temps réel, soccer

BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE RISK OF MILD TRAUMATIC BRAIN INJURIES DURING SOCCER PLAY

Caroline LECOURS

ABSTRACT

Playing soccer, as for the practice of all sports, carries a risk of injury. Mild traumatic brain injury (MTBI) is a particularly common injury in most sports. One of the most important mechanisms of MTBI is the acceleration of the head. In soccer, acceleration of the head is caused by voluntary impacts (heading techniques) and involuntary impacts. However, in the current literature, there is little data on the kinematics of the head when the impact occurs in a real-time situation, such as a soccer training or a soccer game. Therefore, the main objective of this research project was to assess the risk of MTBI in real-time soccer game. To achieve this goal, head accelerations of male and female soccer players over 18 years old were measured during training and soccer games. A total of 8 male players in the AAA provincial league and a total of 16 players in the A regional league, participated in this study. Participants wore a headband instrumented with a SIM-G (Triax Technologies, Norwalk, Ct,USA) to measure various head parameters such as linear acceleration, angular acceleration, angular velocity and head movement, when the impact was greater than 10g. The risk of MTBI was identified by comparing the acceleration amplitudes with the MTBI risk thresholds established by Zhang, Yang et King (2004) and by Rowson et al. (2012). The results showed that there was a greater risk of MTBI in soccer games as opposed to training. As well, the defense players were more at risk to suffer from a MTBI than forwards and midfielders. Also, heading techniques have resulted in a greater risk of MTBI than involuntary impacts. These results demonstrated that despite the fact that soccer is considered a non-contact sport, there is a significant risk of MTBI while playing soccer. The situations observed during this research project showed the importance of awareness and education about the risk of MTBI in soccer for coaches, players and parents. For this reason, the Fédération de soccer du Québec should emphasize on the risk, the symptoms and the consequences of MTBI during coach training.

Keywords : mild traumatic brain injury, concussion, head acceleration, real-time field events, soccer

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	5
1.1 Définitions.....	6
1.1.1 Blessures	6
1.1.2 Traumatisme crânien et traumatisme crâno-cérébral.....	7
1.2 Anatomie de l'encéphale.....	7
1.2.1 Encéphale	8
1.2.2 Protection de l'encéphale	10
1.2.2.1 Crâne	10
1.2.2.2 Méninges.....	12
1.2.2.3 Liquide cérébospinal	13
1.2.3 Tissu nerveux	13
1.3 Mouvements et muscles du segment tête-cou.....	15
1.4 Traumatisme crâno-cérébral léger	15
1.4.1 Physique du mouvement associée aux mécanismes de TCCL	16
1.4.2 Énergie	18
1.4.3 Accélération de la tête.....	19
1.4.3.1 Accélération linéaire et accélération angulaire de la tête.....	19
1.4.3.2 Seuils de risque	21
1.5 Mécanismes des TCCL au soccer	23
1.5.1 Impacts volontaires : techniques de tête	23
1.5.1.1 Types de technique de tête.....	25
1.5.1.2 Phases des techniques de tête.....	28
1.5.2 Impacts involontaires	29
1.6 Facteurs d'influence sur le risque de TCCL au soccer	29
1.6.1 Âge et genre des joueurs	30
1.6.2 État physique et psychologique des joueurs et des joueuses	31
1.6.3 Compétition.....	32
1.6.4 Équipements de protection.....	33
1.6.4.1 Protecteur buccal.....	34
1.6.4.2 Bandeau de protection.....	34
1.6.5 Environnement	35
1.7 Conséquences des TCCL	36
1.7.1 Conséquences à court terme.....	36
1.7.2 Conséquences à long terme.....	38
1.8 Études sur les TCCL au soccer	39
1.8.1 Études statistiques	40

1.8.2	Études en laboratoire et par MÉF	40
1.8.3	Études en situation de jeu en temps réel	41
1.8.3.1	Étude de Hanlon et Bir (2012).....	41
1.8.3.2	Étude de McCuen et al. (2015).....	44
1.8.3.3	Étude de Lynall et al. (2016).....	46
1.9	Résumé.....	48
CHAPITRE 2 PROBLÉMATIQUE DU PROJET DE RECHERCHE.....		51
2.1	Problématique	51
2.2	Hypothèses	52
2.3	Objectifs.....	53
2.4	Bénéfices attendus du projet de recherche.....	53
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....		55
3.1	Méthodologie expérimentale	55
3.1.1	Critères d'inclusion et d'exclusion	55
3.1.2	Informations sur les participants	56
3.1.3	Résumé des caractéristiques des participants du projet de recherche	57
3.1.4	Matériel utilisé lors des séances d'acquisition.....	58
3.1.4.1	SIM-G et SKYi	59
3.1.4.2	Fiches d'informations et autres matériels	61
3.1.5	Acquisitions des données.....	63
3.1.5.1	Entraînements de la saison d'été.....	64
3.1.5.2	Matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	64
3.1.6	Évaluation du risque de TCCL lors des séances d'acquisition	66
3.2	Méthodologie de l'analyse statistique.....	66
3.2.1	Filtrage préliminaire des données	66
3.2.2	Visionnement des séances d'acquisition et filtrage final des données	67
3.2.3	Analyse post-acquisition.....	68
3.2.4	Analyse statistique	70
3.2.4.1	Démarche de l'analyse statistique.....	70
3.2.4.2	Régressions	72
CHAPITRE 4 RÉSULTATS.....		75
4.1	Nombres et durée des séances d'acquisition.....	75
4.1.1	Accélérations et vitesses de la tête mesurées chez les joueurs	76
4.1.2	Accélérations et vitesses de la tête mesurées chez les joueuses	78
4.2	Évaluation des situations présentant un risque de TCCL	81
4.2.1	Risque de TCCL identifié chez les joueurs.....	82
4.2.1.1	Entraînements de la saison d'été.....	82
4.2.1.2	Matchs de compétition de la saison d'été	84
4.2.1.3	Fréquence des types de techniques de tête.....	87
4.2.1.4	Fréquence des types d'impacts involontaires	89
4.2.1.5	Fréquence du mouvement de la tête.....	92
4.2.2	Risque de TCCL identifié chez les joueuses.....	100

4.2.2.1	Matchs de compétition de la saison d'été	100
4.2.2.2	Matchs de compétition de la saison d'automne.....	103
4.2.2.3	Fréquence des types de techniques de tête.....	105
4.2.2.4	Fréquence des types d'impacts involontaires	107
4.2.2.5	Fréquence du mouvement de la tête.....	110
4.3	Évaluation des facteurs d'influence sur la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires	116
4.3.1	Fréquence en fonction du temps de jeu.....	116
4.3.2	Influence de la période de jeu	117
4.3.3	Influence du rôle et de la position sur le terrain.....	118
4.3.4	Influence des facteurs reliés aux participants	121
4.3.4.1	Paramètres anthropométriques du segment tête-cou.....	122
4.3.4.2	Paramètre du poids des participants.....	122
4.3.5	Influence de l'environnement	123
4.3.5.1	Température de l'air ambiant.....	123
4.3.5.2	Paramètres physiques des ballons de soccer	124
4.3.5.3	Type de terrain	125
4.4	Régressions	126
CHAPITRE 5 DISCUSION		131
5.1	Discussion générale sur le projet de recherche	131
5.2	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires	132
5.3	Amplitude des accélérations linéaires et des accélérations angulaires	135
5.4	Évaluation des situations présentant un risque de TCCL	138
5.5	Facteurs d'influence sur la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires.....	144
5.6	Activations des bandeaux instrumentés sous les seuils de risque de TCCL.....	146
5.7	Conscientisation au risque de TCCL	148
5.8	Limites du projet de recherche.....	149
5.9	Portée du projet de recherche.....	150
CONCLUSION		153
RECOMMANDATIONS		157
ANNEXE I	FICHES D'INFORMATIONS SUR LES PARTICIPANTS	161
ANNEXE II	FICHES SUR LES SÉANCES D'ACQUISITION	163
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		165

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Seuils de risque de TCCL associés à l'accélération linéaire et à l'accélération angulaire de la tête	22
Tableau 1.2 Seuils de risque de TCCL associés à l'accélération angulaire et à la vitesse angulaire de la tête	23
Tableau 1.3 Regroupement des impacts involontaires chez les joueurs et les joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire	29
Tableau 1.4 Taux de TCCL par exposition de 1000 joueurs et joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire	33
Tableau 1.5 Limites des paramètres physiques du ballon de soccer définies par la FIFA	35
Tableau 1.6 Nombre d'impacts selon le type de session pour les joueuses de niveau secondaire et universitaire.....	45
Tableau 3.1 Caractéristiques des joueurs de l'équipe masculine U18-AAA.....	58
Tableau 3.2 Caractéristiques des joueuses de l'équipe féminine senior-A.....	58
Tableau 3.3 Caractéristiques physiques du SIM-G	60
Tableau 4.1 Nombre d'heures d'acquisition selon le genre et le type de séance	76
Tableau 4.2 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le type de séance d'acquisition chez les joueurs.....	76
Tableau 4.3 Nombre moyen, par séance d'acquisition, de techniques de tête, d'impacts involontaires et d'activations des bandeaux instrumentés chez les joueurs	77
Tableau 4.4 Valeurs minimales, maximales et moyennes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires des joueurs selon le type de séance d'acquisition.....	77
Tableau 4.5 Valeurs minimales, maximales et moyennes des vitesses angulaires de la tête des joueurs selon le type de séance d'acquisition	78

Tableau 4.6	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le type de séance d'acquisition chez les joueuses.....	79
Tableau 4.7	Nombre moyen, par séance d'acquisition, techniques de tête, d'impacts involontaires et d'activations des bandeaux instrumentés chez les joueuses.....	79
Tableau 4.8	Valeurs minimales, maximales et moyennes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueuses selon le type de séance d'acquisition	80
Tableau 4.9	Valeurs minimales, maximales et moyennes des vitesses angulaires de la tête des joueuses selon le type de séance d'acquisition	80
Tableau 4.10	Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueurs ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements	84
Tableau 4.11	Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueurs ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition	86
Tableau 4.12	Techniques de tête et impacts involontaires ayant franchi les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012) pour les joueurs lors des matchs de compétition	87
Tableau 4.13	Nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés ayant franchi les seuils de risque par joueur selon le type d'acquisition	87
Tableau 4.14	Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements et des matchs de compétition	89
Tableau 4.15	Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des entraînements et des matchs de compétition	89
Tableau 4.16	Nombres des types d'impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements et des matchs de compétition	91
Tableau 4.17	Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements et des matchs de compétition.....	99

Tableau 4.18	Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des entraînements et des matchs de compétition	99
Tableau 4.19	Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueuses ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition de la saison d'été.....	102
Tableau 4.20	Techniques de tête et impacts involontaires ayant franchi les seuils de Rowson et al. (2012) pour les joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été.....	102
Tableau 4.21	Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueuses ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition de la saison d'automne.....	104
Tableau 4.22	Techniques de tête et impacts involontaires ayant franchi les seuils de Rowson et al. (2012) pour les joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'automne.....	105
Tableau 4.23	Nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés par joueuse lors d'une séance d'acquisition selon le type de séance d'acquisition	105
Tableau 4.24	Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	107
Tableau 4.25	Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des matchs compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	107
Tableau 4.26	Nombres des types d'impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	109
Tableau 4.27	Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	115
Tableau 4.28	Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	115

Tableau 4.29	Fréquence moyenne (écart-type) des techniques de tête et des impacts involontaires par 60 minutes de jeu selon le type de séance d'acquisition chez les joueurs	116
Tableau 4.30	Fréquence moyenne (écart-type) des techniques de tête et des impacts involontaires par 60 minutes de jeu selon le type de séance d'acquisition chez les joueuses	117
Tableau 4.31	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la période de jeu pour les joueurs	118
Tableau 4.32	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la période de jeu pour les joueuses et selon le type de séance d'acquisition.....	118
Tableau 4.33	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le rôle des joueurs	119
Tableau 4.34	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la position des joueurs.....	119
Tableau 4.35	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le rôle des joueuses et selon le type de séance d'acquisition	120
Tableau 4.36	Proportion des joueuses en fonction du rôle sur le terrain et selon le type de séance d'acquisition	121
Tableau 4.37	Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la position des joueuses et selon le type de séance d'acquisition	121
Tableau 4.38	Proportion des joueuses en fonction la position sur le terrain et selon le type de séance d'acquisition	121
Tableau 4.39	Valeurs moyennes et écarts-types des paramètres anthropométriques normalisés du segment tête-cou des participants	122
Tableau 4.40	Valeurs minimales, maximales et moyennes des températures de l'air ambiant lors des séances d'acquisition pour les joueurs et les joueuses.....	124
Tableau 4.41	Paramètres physiques des ballons de soccer lors des matchs de compétition des joueurs	125
Tableau 4.42	Paramètres physiques des ballons de soccer lors des matchs de compétition lors de la saison d'été et de la saison d'automne des joueuses.....	125

Tableau 4.43	Résultats des régressions simples et des régressions multiples pour la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires	127
Tableau 4.44	Résultats des régressions multiples pour les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires des techniques de tête	129
Tableau 5.1	Comparaison du nombre de techniques de tête et d'impacts involontaires ayant franchi les seuils de risque lors des entraînements et des matchs de compétition des joueurs	140

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	8
Figure 1.2	9
Figure 1.3	10
Figure 1.4	11
Figure 1.5	11
Figure 1.6	12
Figure 1.7	13
Figure 1.8	14
Figure 1.9	14
Figure 1.10	15
Figure 1.11	17
Figure 1.12	18
Figure 1.13	25
Figure 1.14	26
Figure 1.15	26
Figure 1.16	27
Figure 1.17	27
Figure 1.18	28
Figure 1.19	42
Figure 1.20	44

Figure 3.1	Mesures anthropométriques du segment tête-cou.....	57
Figure 3.2	Instrument de mesure SIM-G.....	59
Figure 3.3	a) Port du bandeau instrumenté en vue frontale b) Port du bandeau instrumenté en vue latérale	60
Figure 3.4	SKYi (Triax Technologies inc., Norwalk, CT).....	61
Figure 3.5	a) Montage caméra b) Vue sur le terrain de soccer	62
Figure 3.6	SKYi sur le banc des joueuses	63
Figure 3.7	Terrain de soccer pour le jeu 11 contre 11 et le jeu 7 contre 7	65
Figure 4.1	Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires de la tête des joueurs lors des entraînements : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s^2).....	83
Figure 4.2	Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires de la tête des joueurs lors des matchs de compétition : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s^2).....	85
Figure 4.3	Fréquence des types de techniques de tête lors des entraînements et lors des matchs de compétition.....	88
Figure 4.4	Fréquence des types d'impacts involontaires lors des entraînements et lors des matchs de compétition.....	91
Figure 4.5	Identification du mouvement de la tête en vue de face et en vue latérale.....	92
Figure 4.6	Identification du mouvement de la tête en vue de dessous et en vue de dessus	93
Figure 4.7	Identification du mouvement de la tête en vue arrière.....	93
Figure 4.8	Exemple d'activation du bandeau instrumenté engendrant un mouvement de la tête de la catégorie avant centre	94
Figure 4.9	Fréquence du mouvement de la tête lors des entraînements et lors des matchs de compétition : a) techniques de tête et b) impacts involontaires.....	95
Figure 4.10	Accélérations des techniques de tête en fonction du mouvement de la tête des joueurs : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s^2).....	97

Figure 4.11	Accélérations des impacts involontaires en fonction du mouvement de la tête des joueurs a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s ²)	98
Figure 4.12	Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été : a) linéaires (g) b) angulaires (rad/s ²).....	101
Figure 4.13	Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'automne : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s ²).....	103
Figure 4.14	Fréquence des types de techniques de tête lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	106
Figure 4.15	Fréquence des types d'impacts involontaires lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne	109
Figure 4.16	Fréquence du mouvement de la tête lors des matchs de compétition de la saison d'été et d'automne : a) techniques de tête et b) impacts involontaires.....	111
Figure 4.17	Accélérations des techniques de tête en fonction du mouvement de la tête des joueuses a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s ²)	113
Figure 4.18	Accélérations des impacts involontaires en fonction du mouvement de la tête des joueuses a) linéaires (g) b) angulaires (rad/s ²)	114
Figure 4.19	IMC des joueurs et des joueuses	123
Figure 5.1	Joueuse en période de récupération	147

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ÉTS	École de technologie supérieure
g	Accélération gravitationnelle
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
H	Hypothèse
HITS	Head Impact Telemetry System
IMC	Indice de masse corporel
MÉF	Modèle par éléments finis
NFL	National Football League
NITs	Non-Impact Transients
OS	Objectif spécifique
SIM	Smart Impact Monitor
TCC	Traumatisme crânio-cérébral
TCCL	Traumatisme crânio-cérébral léger

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

UNITÉS GÉOMÉTRIQUES

Longueur

m	mètre
mm	millimètre
km	kilomètre
pi	pied

UNITÉS MÉCANIQUES

Vitesse

m/s	mètre par seconde
rad/s	radian par seconde

Accélération

m/s ²	mètre par seconde carré
rad/s ²	radian par seconde carré

Angle plan

°	degré
---	-------

UNITÉS DE MASSES

kg	kilogramme
g	gramme

UNITÉS DE TEMPS

ms	milliseconde
----	--------------

Contrainte, pression

kPa	kilopascal
bar	bar

Angle solide Fréquence

Hz	hertz
----	-------

UNITÉS CALORIFIQUES

°C	degré celsius
----	---------------

INTRODUCTION

La pratique d'un sport engendre inévitablement un risque de blessure, et ce, peu importe le niveau de compétition. Chaque sport étant unique, le type de blessure et les régions du corps à risque d'être lésées varient généralement en fonction du sport pratiqué. Toutefois, une blessure est observée dans la majorité des sports : le traumatisme crânien. Le traumatisme crânien englobe différentes catégories de blessure, dont le traumatisme crâno-cérébral (TCC), qui implique une atteinte au cerveau. Le TCC est aussi divisé en trois catégories selon la gravité de l'atteinte au cerveau : le TCC léger (TCCL), aussi nommé commotion cérébrale, le TCC modéré et le TCC sévère. Au Canada, entre 2007 et 2010, chez les 5 à 19 ans, les TCCL représentaient 3,5 % des blessures totales au soccer, 5,6 % au football et 10,9 % au hockey (SCHIRPT, 2010). Malgré l'avancement technologique des équipements sportifs, le TCCL est toujours considéré comme un fléau dans le monde sportif. En effet, la compréhension des mécanismes lésionnels engendrant les TCCL est très complexe. Cette complexité s'explique par l'influence de plusieurs facteurs tels que les caractéristiques du tissu nerveux, la régénération des neurones et les caractéristiques uniques de chaque impact comme l'amplitude de la force résultante et l'amplitude des accélérations de la tête.

Depuis le début des années 2000, grâce aux études menées sur le TCCL, le monde sportif a pris conscience des conséquences importantes à court et long terme de cette blessure. Plusieurs études ont démontré que les TCCL peuvent non seulement engendrer des troubles mineurs et passagers de l'attention, de la mémoire ou du langage, mais aussi entraîner la mort (Comstock et al., 2015; Gessel et al., 2007; Marar et al., 2012). Les études des TCCL se sont concentrées principalement sur les sports de contact tels que le football (Pellman et al., 2003) et le hockey (Wennberg et Tator, 2008). Toutefois, même si le TCCL n'est en général pas associé aux sports considérés sans contact, les joueurs de soccer ne sont pas épargnés. Par exemple, le nombre de TCCL rapporté au soccer universitaire féminin est équivalent au nombre rapporté au hockey universitaire masculin (Hootman, Dick et Agel, 2007). Le TCCL en lien avec la pratique du soccer est un sujet pour lequel l'intérêt ne cesse d'augmenter. Ainsi, la US Youth Soccer, fédération des jeunes joueurs de soccer des États-Unis, impose

depuis novembre 2015 une loi interdisant les techniques de tête chez les jeunes de moins de 10 ans (NBC Sports, 2015).

Plusieurs études statistiques ont permis de quantifier le nombre de TCCL subi lors de la pratique du soccer selon différents groupes d'âge et selon le genre des joueurs (Cusimano et al., 2013; Giannotti et al., 2010; O'Kane et al., 2014). Afin d'améliorer la compréhension des mécanismes lésionnels engendrant les TCCL, des études ont été réalisées à l'aide de modèles par éléments finis (Hassan et Taha, 2015) et en laboratoire (Gennarelli, Adams et Graham, 1981; Shewchenko et al., 2005a). Ces études ont permis d'identifier l'accélération de la tête comme un des mécanismes lésionnels régissant la gravité des TCCL et ont décelé des facteurs d'influence tels que les paramètres physiques du ballon, la température de l'air ambiant et le type de terrain. Malgré l'apport important de connaissances, les études en laboratoire comportent des limites, car certains facteurs comme le facteur de compétition entre joueurs ne peuvent être inclus. Il est donc nécessaire d'effectuer la collecte de données sur le terrain, lors d'entraînements et lors de matchs de compétition de soccer, pour approfondir la compréhension des TCCL. Mais, la mesure des accélérations de la tête de joueurs en temps de jeu réel présente une difficulté technique. En effet, les instruments de mesure nécessitent en général l'usage de fils, ce qui restreint le déplacement des joueurs lors des entraînements ou des matchs de compétition. Le développement technologique des dernières années a permis de surmonter cette restriction et, au regard des connaissances actuelles, seulement trois études ont été réalisées en situation de jeu en temps réel depuis 2010. La première étude consistait en des matchs intra-équipe lors d'entraînements et était composée d'une cohorte de joueuses âgées de 13 à 14 ans (Hanlon et Bir, 2012). Les deux autres études consistaient en des entraînements et des matchs de compétition chez des joueuses de niveau secondaire âgées de plus de 14 ans et de niveau universitaire d'âge moyen de 19 ans (Lynall et al., 2016; McCuen et al., 2015). Il y a donc une absence de données pour plusieurs groupes d'âge comme les jeunes enfants et les adultes, sans compter qu'aucune étude n'a ciblé les équipes masculines de même que les diverses ligues (niveaux) de compétition. Aussi, plusieurs facteurs tels que la température de l'air ambiant et les propriétés physiques du ballon n'ont pas été étudiés au cours de ces études.

L'objectif de ce projet de recherche était d'évaluer le risque de TCCL lors de la pratique du soccer. De manière spécifique, les objectifs étaient : 1) mesurer les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête de participants lors d'entraînements et de matchs compétition; 2) déterminer le risque de TCCL associé aux amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires mesurées; 3) identifier le type de techniques de tête, le type d'impacts involontaires et les mouvements de la tête susceptibles d'engendrer un risque de TCCL; 4) étudier la relation entre différents facteurs pouvant influencer la fréquence et l'amplitude des accélérations de la tête tels que la période de jeu, le rôle et la position du participant sur le terrain, le résultat final du match de compétition, les paramètres anthropométriques du segment tête-cou, l'indice de masse corporelle, la température de l'air ambiant, les paramètres physiques des ballons de soccer et le type de terrain.

Ce projet de recherche a été réalisé avec la collaboration de l'Association Régionale de Soccer de la Rive-Sud. Les équipes participantes étaient une équipe masculine U18 de la ligue provinciale et une équipe féminine senior de la ligue régionale. Les acquisitions ont été réalisées sur une période de deux mois lors de la saison d'été, et ce, pour les deux équipes. L'équipe féminine a aussi été suivie pour une période de trois mois lors de la saison d'automne. Un total de 8 joueurs de l'équipe masculine a participé à ce projet de recherche, le nombre étant limité par l'âge minimum requis de 18 ans. Pour l'équipe féminine, le nombre de joueuses était de 16 pour la saison d'été et de 13 pour la saison d'automne. Les acquisitions des accélérations de la tête des participants ont été réalisées avec un bandeau instrumenté du SIM-G (Triax Technologies, Norwalk, Ct), lors d'entraînements et de matchs de compétition pour les joueurs et lors de matchs de compétition pour les joueuses.

Le mémoire se divise en cinq chapitres. Le premier chapitre présente une revue de la littérature regroupant les thématiques essentielles à la compréhension du contexte de ce projet de recherche. Le deuxième chapitre présente la problématique, les hypothèses, les objectifs et les bénéfices du projet de recherche. Le troisième chapitre regroupe les méthodologies expérimentales et d'analyses statistiques. Finalement, les résultats du projet de recherche et la discussion sont présentés aux chapitres quatre et cinq.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le soccer est un sport populaire, principalement auprès des jeunes, avec plus de 200 millions de joueurs et de joueuses à travers le monde (Petraglia, Bailes et Day, 2015). Au Canada, le soccer est le sport le plus pratiqué par les jeunes de 3 à 17 ans (SRG, 2014). Le rapport annuel de l'Association canadienne de soccer indique que plus de 824 181 joueurs et de joueuses, juniors et séniors, ont été enregistrés en 2014 et que 183 711 de ces joueurs et joueuses étaient du Québec (Association canadienne de soccer, 2014). Aux États-Unis, le nombre de jeunes joueurs et de jeunes joueuses dépasse les trois millions (US Youth soccer, 2014).

La pratique du soccer implique toutefois un risque de blessures. Ainsi, entre 2001 et 2005, plus de 169 000 blessures nécessitant une hospitalisation causée par la pratique du soccer ont été répertoriées aux États-Unis (Ashare et Ziejewski, 2014). Au Canada, le Système canadien hospitalier d'information et de recherche en prévention des traumatismes a enregistré près de 12 000 blessés âgés de 5 à 19 ans entre 2007 et 2010 (SCHIRPT, 2010). Les blessures les plus fréquentes sont l'étirement et le déchirement musculaire ou ligamentaire au bas du corps et représentent de 29 % à 60 % des blessures totales au soccer (Giannotti et al., 2011). Le segment tête-cou n'est pas épargné, étant impliqué dans 4 % à 22 % des blessures au soccer (Giannotti et al., 2011; Lees et Nolan, 1998; Mehnert, Agesen et Malanga, 2005).

Bien que moins fréquentes, les blessures au segment tête-cou ont des conséquences à court et long terme considérables. Par exemple, un traumatisme crânio-cérébral léger (TCCL) qui n'est pas pris en charge correctement risque de prolonger la période de troubles neurocognitifs. Cela signifie que le joueur ou la joueuse peut éprouver une difficulté mineure ou majeure de l'attention, de la mémoire ou du langage. Si un joueur ou une joueuse souffre d'un TCCL et continue la pratique du soccer ou un autre sport, le risque d'un second TCCL augmente et peut être multiplié de quatre à six fois (Iverson et al., 2004).

Au soccer, les blessures au segment tête-cou se produisent lors d'impacts volontaires et lors d'impacts involontaires. Les impacts volontaires sont associés aux techniques de tête et sont définis comme l'action volontaire de rediriger le ballon avec la tête. Les impacts involontaires sont observés lors d'un contact entre joueurs ou entre joueuses ou d'un contact avec le sol, les poteaux de but ou le ballon. Le risque de subir un TCCL varie selon le joueur et la joueuse, car chaque personne possède des caractéristiques anatomiques, physiologiques et musculaires différentes.

Cette revue de la littérature rassemble les notions essentielles à la compréhension de ce projet de recherche. Elle débute en présentant les définitions des différents termes entourant le TCCL. Par la suite, l'anatomie de l'encéphale et le fonctionnement du segment tête-cou sont abordés. Le TCCL est ensuite décrit à l'aide de principes physiques. L'accélération de la tête, identifiée comme un mécanisme lésionnel important pour les TCCL, est aussi traitée. Les mécanismes des TCCL spécifiques au soccer tels que les impacts volontaires (techniques de tête) et les impacts involontaires sont ensuite détaillés. Les facteurs qui ont une influence sur le risque de subir un TCCL ainsi que les conséquences reliées aux TCCL sont aussi présentés. Ce chapitre se termine par une discussion sur les différentes études réalisées sur les TCCL lors de la pratique du soccer.

1.1 Définitions

Cette section présente les définitions des termes suivants : blessure, traumatisme crânien et traumatisme crânio-cérébral. Ces définitions sont essentielles à la compréhension du contexte de ce projet de recherche.

1.1.1 Blessures

Les blessures se définissent par les dommages subis aux tissus du corps en réponse à un traumatisme physique (Whiting et Zernicke, 2008). Les blessures peuvent être classées selon différentes typologies identifiées en fonction du temps de réaction et de la région touchée. Les blessures en fonction du temps de réaction sont les blessures primaires et secondaires.

Les blessures primaires sont les conséquences immédiates telles qu'une fracture du crâne. Les blessures secondaires sont caractérisées par un délai à la suite d'un traumatisme initial tel qu'une ischémie cérébrale (Whiting et Zernicke, 2008). Les blessures en fonction de la région touchée sont les blessures locales et diffuses. Les blessures locales sont situées dans une région précise du cerveau et les blessures diffuses sont réparties sur plusieurs régions du cerveau.

1.1.2 Traumatisme crânien et traumatisme crânio-cérébral

Un traumatisme crânien est un impact direct ou indirect (impulsion) au niveau du crâne pouvant causer des blessures à l'encéphale. Le traumatisme crânio-cérébral (TCC), quant à lui, désigne les blessures à la tête telles que : le TCC léger (TCCL), le TCC modéré et le TCC sévère (Paquette, s.d.). Le TCCL, aussi nommé commotion cérébrale, correspond à l'altération temporaire du fonctionnement du cerveau (Marieb et al., 2010). D'un point de vue clinique, le TCCL est défini en deux temps, soit par une blessure primaire au cerveau et par une blessure secondaire qui se caractérise par une cascade neurométabolique (Henry, Tremblay et De Beaumont, 2016). Les symptômes récurrents des TCCL sont : la nausée, les vomissements, les vertiges, la confusion et les maux de tête (Parachute - ThinkFirst Canada, s.d.). Le TCC modéré est caractérisé par des petits saignements au cerveau et par une confusion qui peut persister plusieurs jours (Paquette, s.d.). Les saignements au cerveau sont plus importants lors d'un TCC sévère, ce qui peut causer un coma profond et de longue durée (Paquette, s.d.). Le diagnostic des TCC se fait généralement à l'aide de technique d'imagerie médicale et plus précisément par tomodensitométrie. Cette technique permet d'identifier la présence d'anomalies ou de saignements des tissus du cerveau (Tremblay et al., 2017).

1.2 Anatomie de l'encéphale

Cette section présente une brève description des éléments anatomiques de l'encéphale et les différentes protections qui l'entourent. Les caractéristiques du tissu nerveux qui compose l'encéphale sont aussi traitées.

1.2.1 Encéphale

L'encéphale est la région supérieure du système nerveux qui englobe le tronc cérébral, le cervelet et le cerveau, tel que présenté à la Figure 1.1, (Larousse Encyclopédie, s.d.). La masse de l'encéphale varie entre l'homme (environ 1,60 kg) et la femme (environ 1,45 kg). Cette différence correspond à un ratio proportionnel entre la tête et la masse corporelle totale de la personne (Marieb et al., 2010). Le tronc cérébral permet le lien entre le cerveau et la moelle épinière. Le cervelet est responsable de la coordination et de la contraction des muscles nécessaires à l'équilibre et au mouvement du corps (Larousse Encyclopédie, s.d.).

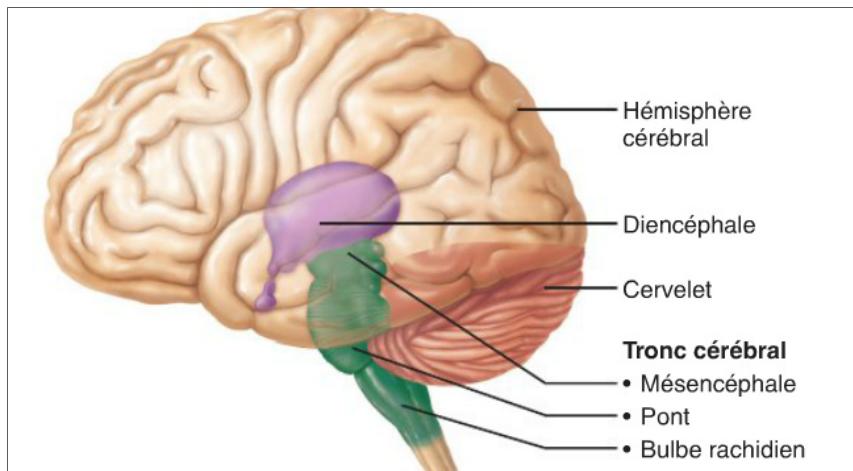


Figure 1.1 Encéphale
Tirée de Marieb et al. (2010, p. 492)

Le cerveau est la structure anatomique prédominante pour les traumatismes crâniens et les TCCL. Par conséquent, le cerveau est identifié comme la structure anatomique d'intérêt pour ce projet de recherche. Le cerveau se subdivise en hémisphère cérébral et en diencéphale. Les hémisphères cérébraux contrôlent l'activation volontaire des muscles et participent aux fonctions intellectuelles et aux réactions émotionnelles. Le diencéphale régit la température corporelle, l'apport alimentaire ainsi que les pulsions biologiques, et ce, principalement grâce au centre de régulation des fonctions physiologiques (hypothalamus) et grâce aux glandes (hypophyse) (Marieb et al., 2010).

Les hémisphères sont constitués de trois régions fondamentales : le cortex cérébral, la substance blanche et les noyaux basaux. Le cortex cérébral est composé de substance grise renfermant les corps cellulaires tels que les neurones. La substance blanche, quant à elle, permet la communication entre les hémisphères grâce aux neurofibres. Les neurofibres et les noyaux basaux constituent la substance blanche et sont présentés à la Figure 1.2 (Marieb et al., 2010). La Figure 1.3 présente la différence entre la substance blanche et la substance grise, ces deux substances ont des densités et des propriétés mécaniques différentes (Petruglia, Bailes et Day, 2015).

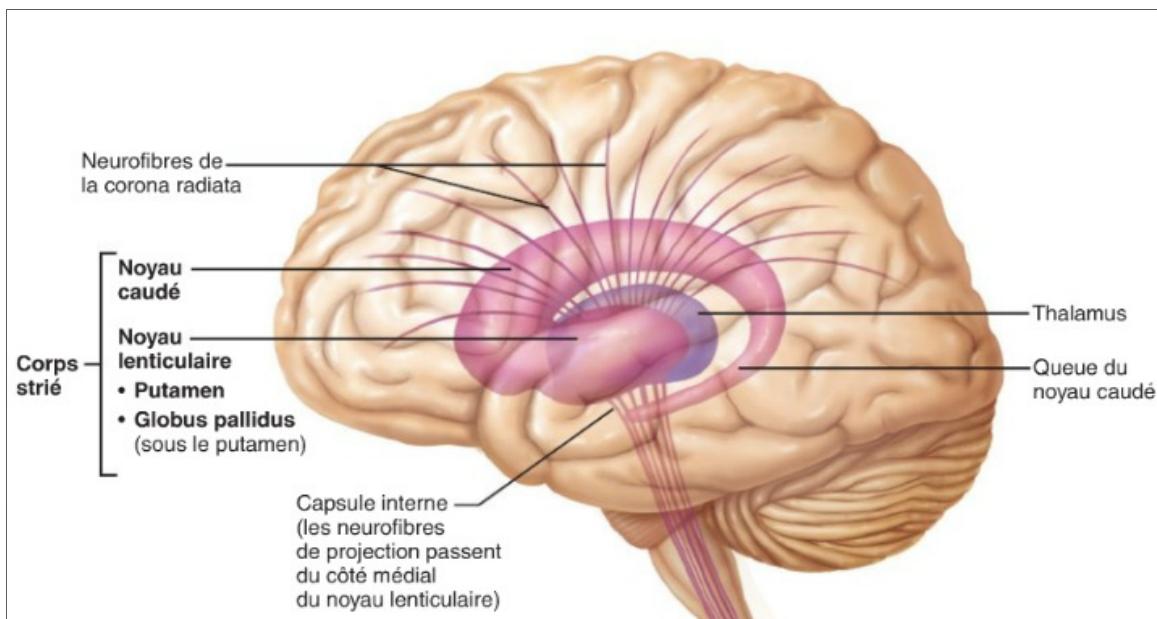


Figure 1.2 Neurofibres et noyaux basaux
Tirée de Marieb et al. (2010, p. 503)

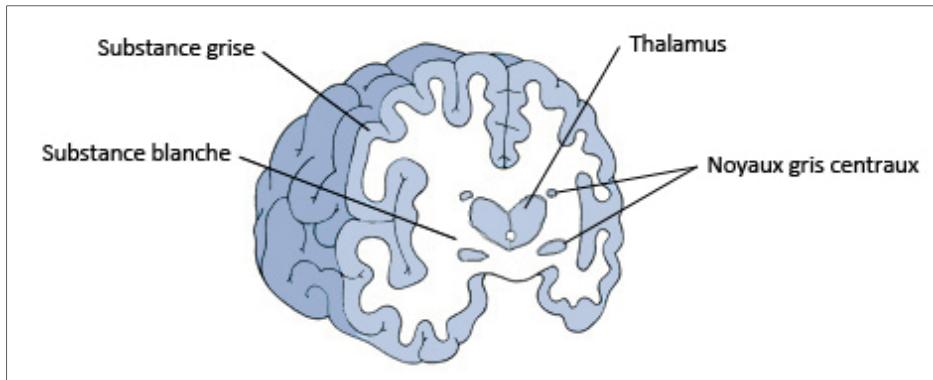


Figure 1.3 Substance blanche et substance grise du cerveau
Tirée de Fondation La main à la pâte (2013)

1.2.2 Protection de l'encéphale

L'encéphale est protégé principalement par les os du crâne, mais les méninges (membrane) et le liquide cébrospinal (coussin aqueux) assurent aussi une protection (Marieb et al., 2010). Les structures protégeant l'encéphale sont traitées dans cette sous-section.

1.2.2.1 Crâne

Le crâne est composé de huit os : l'os frontal, l'os occipital, l'os sphénoïde et l'os ethmoïde ainsi que les os pariétaux et les os temporaux, tel que présenté à la Figure 1.4. La cavité crânienne, bornée par les fosses crâniennes, est occupée par l'encéphale, voir Figure 1.5. L'os frontal forme une grande partie de la cavité crânienne antérieure et les os temporaux constituent la cavité crânienne moyenne. Les os pariétaux couvrent les régions latérales et supérieures du crâne, ces régions constituent la plus grande partie de la cavité crânienne nommée cavité crânienne postérieure (Marieb et al., 2010).

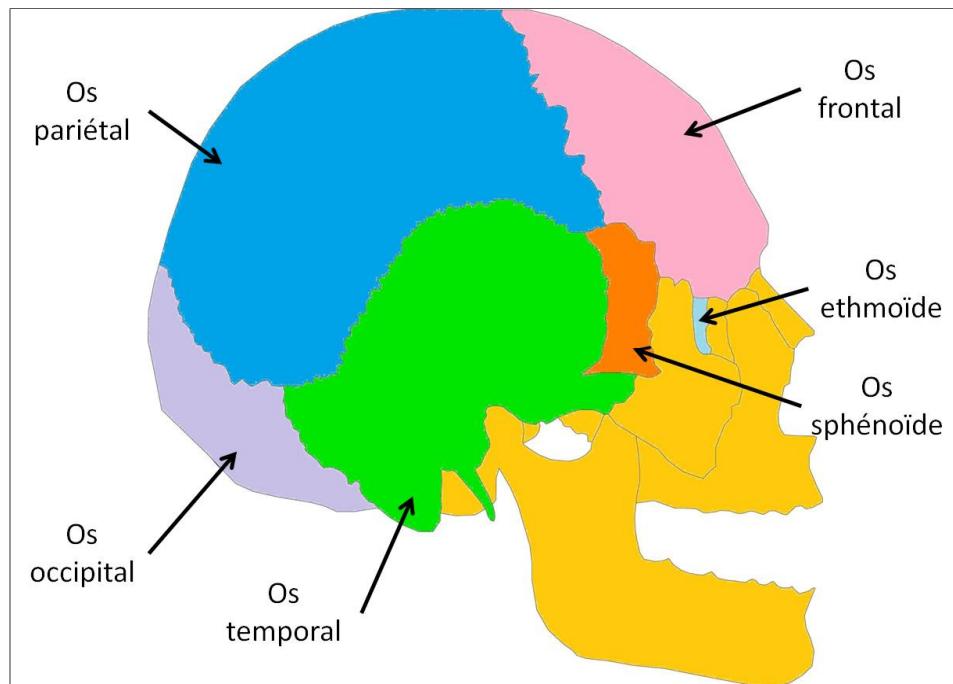


Figure 1.4 Os du crâne

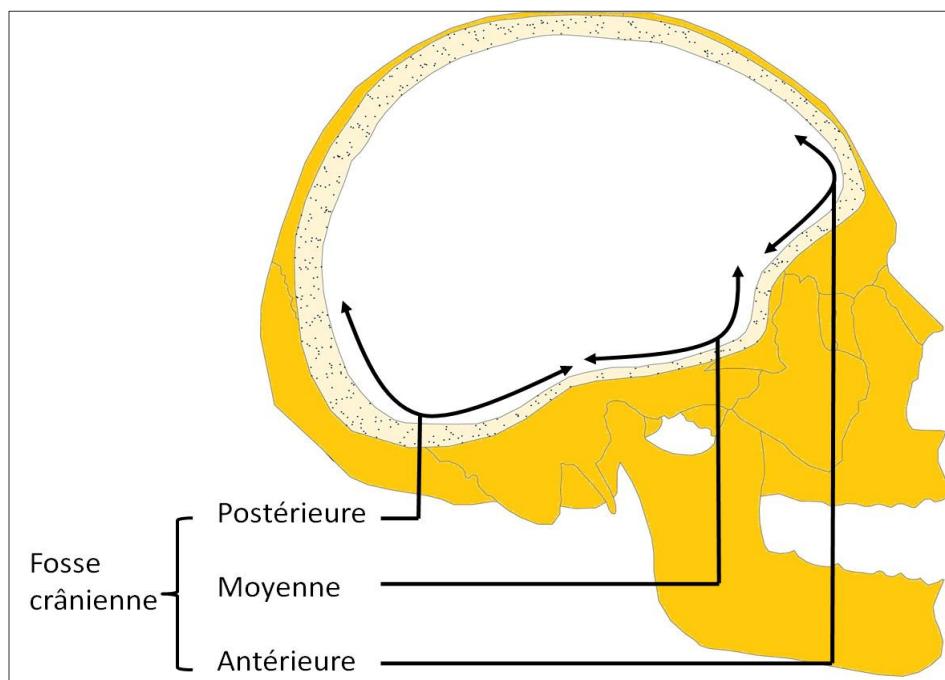


Figure 1.5 Fosses crâniennes

1.2.2.2 Méninges

Les méninges sont divisées en trois membranes de tissu conjonctif: la dure-mère, l'arachnoïde et la pie-mère, tel que présenté à la Figure 1.6. Ces membranes recouvrent et protègent l'encéphale, la moelle épinière et les vaisseaux sanguins. La membrane dure-mère est la plus résistante. Elle pénètre dans l'encéphale, ce qui génère des sections supplémentaires dans la cavité crânienne et, par le fait même, restreint les mouvements de l'encéphale. L'arachnoïde est la membrane intermédiaire. La pie-mère est la membrane la plus profonde et elle épouse la forme de l'encéphale. L'arachnoïde et la pie-mère sont séparées l'une de l'autre par l'espace subarachnoidien. Cet espace est rempli de liquide cérébrospinal et renferme les plus gros vaisseaux sanguins de l'encéphale ainsi que les racines des nerfs crâniens (Marieb et al., 2010).

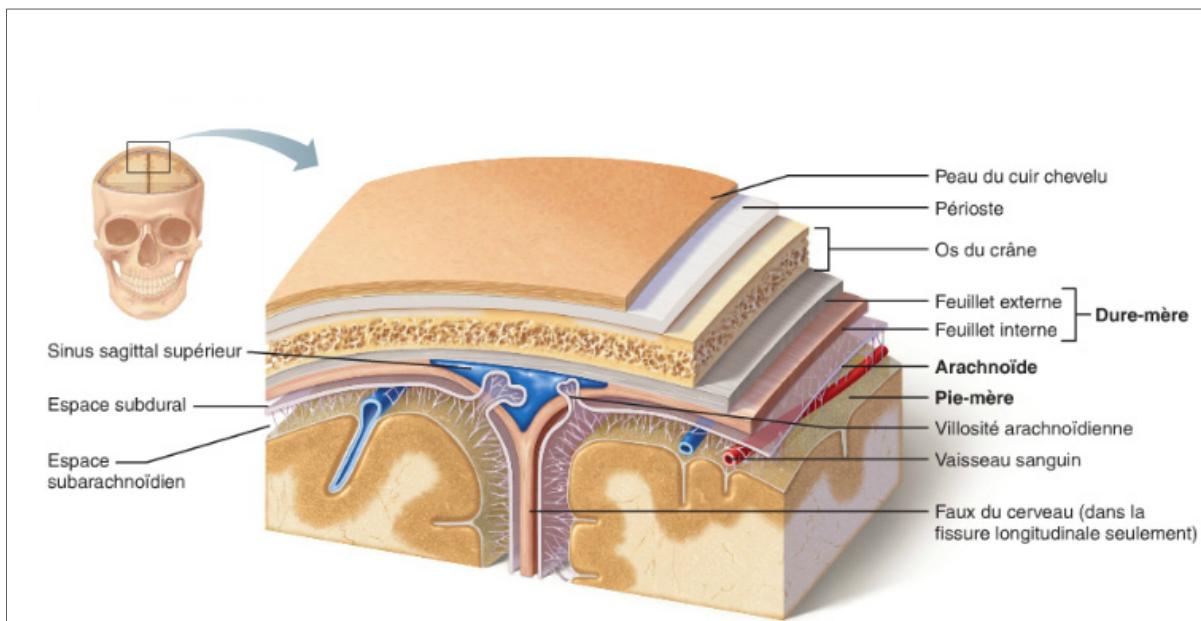


Figure 1.6 Méninges : dure-mère, arachnoïde et pie-mère
Tirée de Marieb et al. (2010, p. 525)

1.2.2.3 Liquide cérébrospinal

Le liquide cérébrospinal est présent à l'intérieur et autour de l'encéphale. Il permet d'alléger le poids de l'encéphale de 97 %. Le liquide cérébrospinal permet aussi de réduire les impacts et les mouvements subis par l'encéphale et par la moelle épinière (Marieb et al., 2010).

1.2.3 Tissu nerveux

Le système nerveux (encéphale, moelle épinière et nerfs) est composé principalement de tissu nerveux, lui-même composé principalement de deux types de cellules : les neurones et les gliocytes. Les neurones émettent et acheminent les influx nerveux, alors que les gliocytes, non-conductrices, protègent les neurones. Les neurones sont composés d'un corps cellulaire et de plusieurs prolongements, voir Figure 1.7. Les prolongements responsables de conduire les influx nerveux sur de longues distances sont nommés axones, voir Figure 1.8. Les microtubules présents à l'intérieur de ces axones sont responsables du déplacement des molécules, tel que présenté à la Figure 1.9 (Marieb et al., 2010).

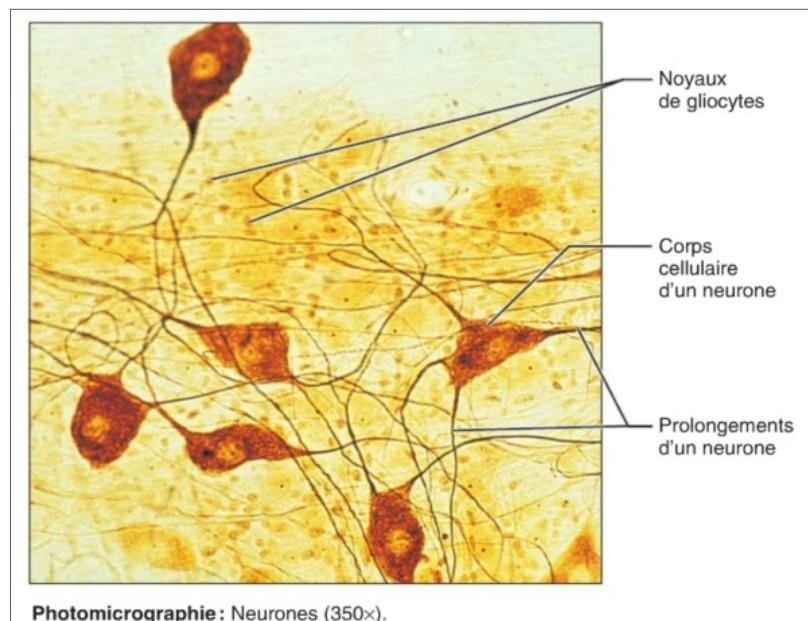


Figure 1.7 Neurones
Tirée de Marieb et al. (2010, p. 156)

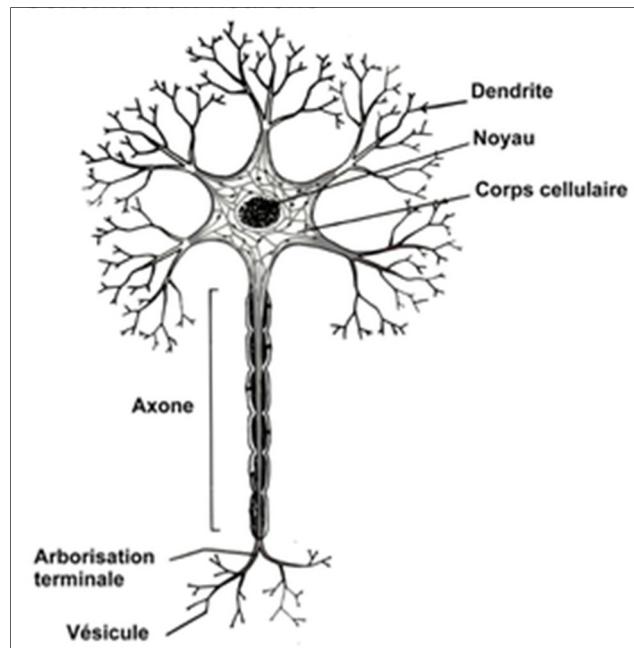


Figure 1.8 Composantes d'un neurone
Tirée de NDLS (2014)

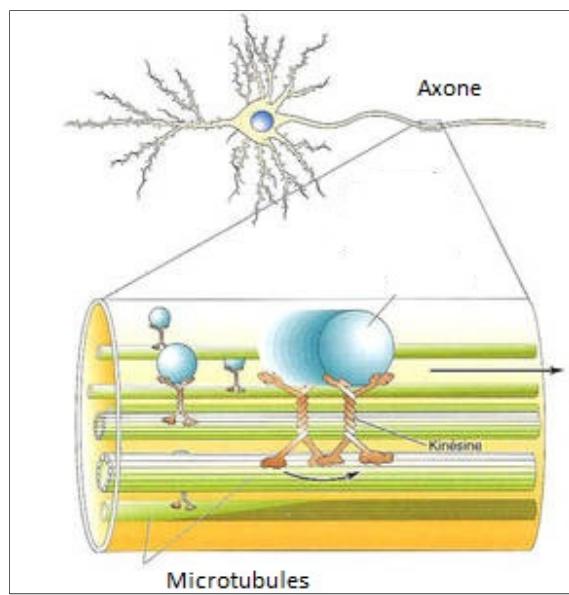


Figure 1.9 Microtubule
Tirée de DANA Foundation (2005)

1.3 Mouvements et muscles du segment tête-cou

Les mouvements du segment tête-cou sont : la flexion, l'extension, l'inflexion latérale et la rotation, tel que présenté à la Figure 1.10. Les muscles du cou permettant la flexion et la rotation de la tête sont principalement les sternocléidomastoïdiens. Lorsque les muscles de chaque côté du cou sont activés, la tête est en flexion. La contraction d'un seul sternocléidomastoïdien génère la rotation de la tête. Les trapèzes, muscles du dos, contribuent aussi à l'extension de la tête lorsque la scapula est immobile (Marieb et al., 2010).

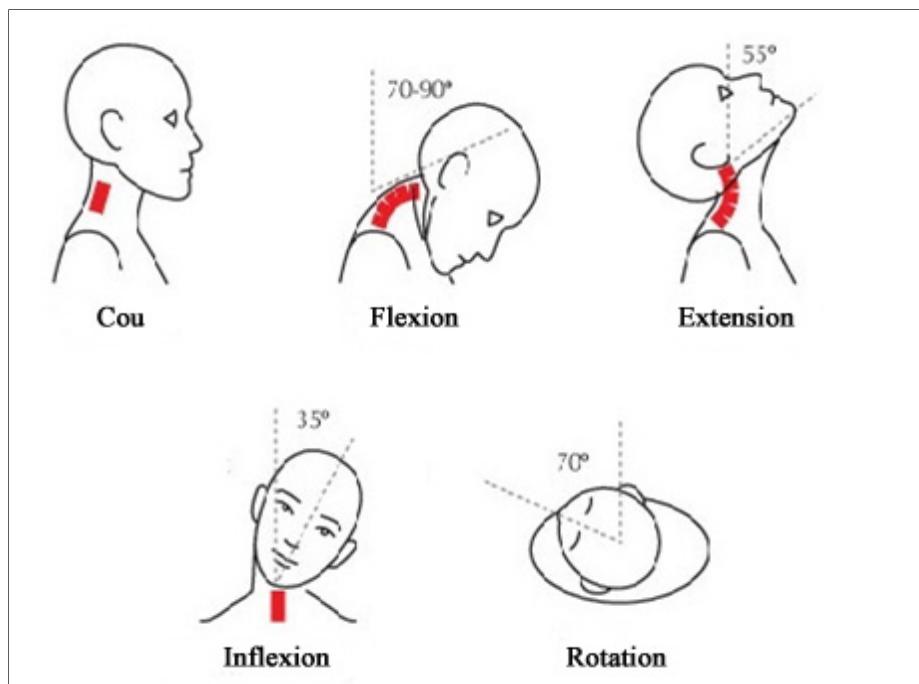


Figure 1.10 Mouvement de la tête et du cou
Adaptée de Clover Desain (2014)

1.4 Traumatisme crânio-cérébral léger

Cette section décrit les principes physiques impliqués dans le mécanisme lésionnel général du TCCL. L'accélération de la tête est ensuite présentée, car elle est identifiée comme un mécanisme lésionnel important pour les TCCL.

1.4.1 Physique du mouvement associée aux mécanismes de TCCL

Le TCCL est une blessure complexe, car chaque trauma est unique. En effet, l'impact direct ou l'impulsion ne survient pas toujours à la même vitesse, dans la même direction et au même endroit anatomique (Petruglia, Bailes et Day, 2015). Il est possible d'expliquer le mécanisme lésionnel général du TCCL à l'aide de deux lois physiques : la seconde loi de Newton présentée à l'équation (1.1) et la conservation de la quantité de mouvement présentée à l'équation (1.3) (Petruglia, Bailes et Day, 2015).

La seconde loi de Newton illustre le phénomène d'impact (force) qui génère le déplacement ainsi que l'accélération de la tête et du cerveau (Petruglia, Bailes et Day, 2015). Il existe une relation de proportionnalité entre la force appliquée et l'accélération de la tête, car la masse de la tête d'un même joueur ou d'une même joueuse reste constante. De ce fait, plus la force de l'impact est grande, plus l'accélération de la tête est élevée. Lorsque la force est appliquée dans la ligne directrice du centre de gravité, l'accélération est dite linéaire (m/s^2), voir Figure 1.11. L'application d'une force qui ne se trouve pas sur cette ligne directrice produit un couple, tel que présenté à la Figure 1.12. Ce couple engendre une accélération angulaire (rad/s^2), voir l'équation (1.2).

Les paramètres « i » et « f » de l'équation (1.3), représentent respectivement l'instant initial et l'instant final d'un impact entre un joueur ou une joueuse et un objet. La loi de conservation de la quantité de mouvement démontre l'importance de la contraction des muscles du cou et du dos tels que les sternocléidomastoïdiens et les trapèzes. Ces muscles, lorsqu'ils sont contractés, permettent à la tête et au reste du corps de former une seule unité. Lorsqu'un joueur ou une joueuse ne prépare pas ses muscles lors de l'impact, la masse du corps tend vers zéro. La quantité de mouvement est alors totalement transférée à la tête, ce qui entraîne une accélération de la tête plus importante que lors de la contraction des muscles.

$$F [N] = m [kg] \cdot a [m/s^2] \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} M [N \cdot m] &= F [N] \cdot \text{distance} [m] \\ M [N \cdot m] &= I [kg \cdot m^2] \cdot \alpha [rad/s^2] \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} V_i [m/s] \cdot m_{objet} [kg] + V_i [m/s] \cdot (m_{tête} + m_{corps}) [kg] \\ = V_f [m/s] \cdot m_{objet} [kg] + V_{f,tête} [m/s] \cdot m_{tête} [kg] \\ + V_{f,corps} [m/s] \cdot m_{corps} [kg] \end{aligned} \quad (1.3)$$

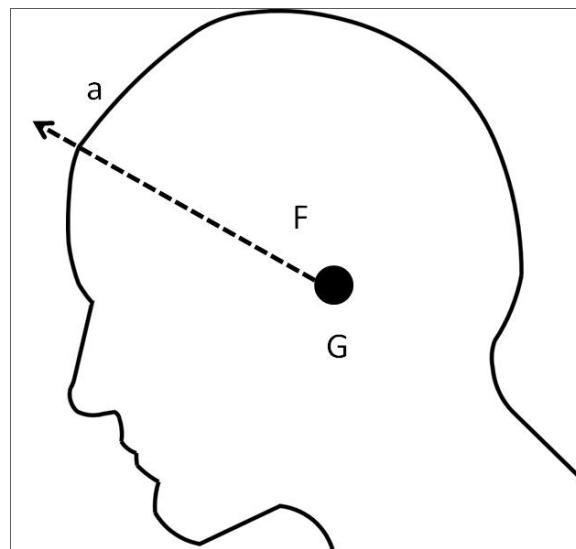


Figure 1.11 Force résultante passant par le centre de gravité

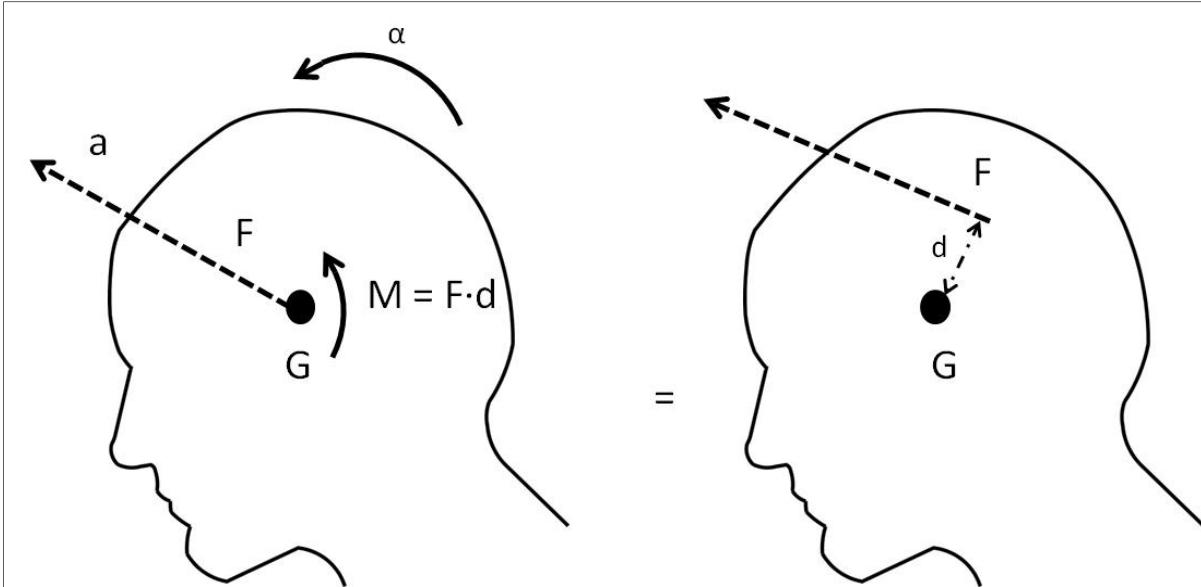


Figure 1.12 Force résultante ne passant pas par le centre de gravité

1.4.2 Énergie

Deux principes gouvernent l'énergie, la conservation et le transfert d'énergie. Ces principes dépendent des propriétés mécaniques des tissus du corps humain. Lors d'un match de compétition de soccer, les joueurs et les joueuses sont en mouvement et possèdent tous une certaine quantité d'énergie conservée dans leur corps. Lorsqu'un joueur ou une joueuse entre en contact avec un ballon en mouvement, il y a un transfert d'énergie entre le joueur ou la joueuse et le ballon. Le transfert peut aussi se produire lors d'un impact entre deux joueurs ou deux joueuses. Le transfert d'énergie est la cause la plus fréquente des blessures, car l'énergie transférée peut dépasser la tolérance des tissus du corps humain, ce qui engendre des blessures. C'est pourquoi l'énergie est identifiée comme un élément critique dans la biomécanique des blessures (Whiting et Zernicke, 2008).

Les impacts à la tête sont différents des impacts au reste du corps humain. De manière générale, lors d'un impact frontal ou latéral au corps, les blessures engendrées sont similaires, peu importe la région du corps. Au niveau de la tête, le crâne possède une

meilleure résilience (capacité d'un matériau à absorber de l'énergie lorsqu'il se déforme) lors d'un impact frontal comparativement à un impact latéral, et ce, pour une même quantité d'énergie (Zhang, Yang et King, 2001). En effet, l'impact latéral cause une déformation du crâne plus importante que l'impact frontal, une pression intracrânienne plus élevée et une déformation transversale plus grande (Zhang, Yang et King, 2001). L'accélération angulaire de la tête est aussi plus importante lors d'un impact latéral que lors d'un impact frontal (Hodgson, Thomas et Khalil, 1983). Ainsi pour un même impact, la région de la tête qui reçoit l'impact a une influence sur le type de blessure subséquent.

1.4.3 Accélération de la tête

L'accélération de la tête causée par un coup direct ou une impulsion génère des blessures diffuses plutôt que locales. D'autre part, l'accélération de la tête est considérée par plusieurs auteurs tels que Gennarelli, Adams et Graham (1981) et repris par le National Highway Traffic Safety Administration, comme le mécanisme lésionnel le plus important pour les blessures à la tête (NHTSA, 1983).

Cette sous-section débute par la description de l'accélération linéaire et de l'accélération angulaire subies à la tête, puis présente les seuils de risque des amplitudes des accélérations de la tête pouvant causer un TCCL.

1.4.3.1 Accélération linéaire et accélération angulaire de la tête

Gennarelli, Adams et Graham (1981) ont rapporté que le type d'accélération subi à la tête influence grandement le dysfonctionnement neurologique subséquent. Cette affirmation peut être expliquée par les propriétés mécaniques du cerveau. Avec un module de compressibilité d'environ 2 000 000 kPa, le cerveau peut être considéré comme incompressible, ce qui suppose une résilience du cerveau envers l'accélération linéaire (Ommaya, Goldsmith et Thibault, 2002).

Cependant, pour l'accélération angulaire, le module de cisaillement est considérablement plus faible avec une valeur de 68,95 kPa (Ommaya, Goldsmith et Thibault, 2002). La valeur du module de cisaillement peut s'expliquer par la différence entre les densités de la substance blanche et de la substance grise qui composent le cerveau. Le déplacement des substances ne se fait pas à la même vitesse lorsque le cerveau est soumis à une accélération angulaire. Il y a création d'un gradient de vitesse dont l'amplitude diminue des couches extérieures vers le centre du cerveau. Ces déplacements différentiels sont la cause du cisaillement des tissus nerveux et des cellules. De plus, ce cisaillement est à l'origine des lésions axonales diffuses qui sont identifiées comme une blessure sévère et sont caractérisées par l'enflure et la dégénérescence des axones (Ommaya, Goldsmith et Thibault, 2002; Petraglia, Bailes et Day, 2015).

Comme mentionné précédemment, l'axone est le prolongement des neurones et permet d'acheminer l'influx nerveux sur de longues distances. Le cisaillement des axones, qui cause les lésions axonales diffuses, restreint l'influx nerveux, ce qui peut survenir dès les cinq premières minutes suivant l'impact et qui peut durer jusqu'à six heures (Petraglia, Bailes et Day, 2015). Le cisaillement des axones engendre aussi des blessures secondaires comme des changements biologiques entraînant la détérioration des microtubules des cellules. Cette détérioration survient en moyenne de 6 à 24 heures après l'impact et engendre une inflammation locale perturbant l'influx nerveux (Meythaler et al., 2001). Un phénomène de boursouflure sur certaines régions de l'axone peut aussi être observé. Ce phénomène, qui est un signe de séparation entre l'axone et le neurone, peut durer plusieurs jours et même plusieurs semaines (Petraglia, Bailes et Day, 2015). D'autre part, le mouvement de rotation du cerveau cause aussi des hémorragies locales dues au déchirement des cellules. Un des problèmes majeurs des lésions axonales diffuses consiste en la difficulté à diagnostiquer cette blessure, car l'imagerie du cerveau peut sembler normale. En effet, Meythaler et al. (2001) ont rapporté que les caractéristiques typiques des lésions axonales diffuses sont retrouvées chez seulement 10 % des patients lors d'évaluation par tomodensitométrie.

1.4.3.2 Seuils de risque

Comme les différences physiologiques, anthropométriques et musculaires ainsi que l'historique de TCCL varient d'un joueur et d'une joueuse à l'autre, il n'est pas possible d'identifier des valeurs uniques d'accélération linéaire et d'accélération angulaire de la tête engendrant systématiquement un TCCL. Afin d'identifier le risque de subir un TCCL, Zhang, Yang et King (2004) ont reconstruit des situations de jeu ayant causé des TCCL lors de matchs de football de la National Football League (NFL). Ces situations reproduites en laboratoire étaient des impacts de type casque contre casque. Un modèle par éléments finis (MÉF) de la tête a permis de prédire la distribution de la pression intracrânienne, des contraintes et des déformations locales en fonction d'un impact qui était associé ou non à un TCCL. Des analyses statistiques, plus précisément des régressions logistiques, ont été effectuées dans le but d'établir une relation entre les blessures résultantes et les dommages aux tissus du cerveau ainsi qu'une relation entre les blessures résultantes et la cinématique de la tête (Zhang, Yang et King, 2004). Ces analyses ont permis d'identifier les seuils de risque de TCCL en fonction des accélérations linéaires et des accélérations angulaires mesurées au centre de gravité de la tête.

Le Tableau 1.1 regroupe les valeurs des accélérations du centre de gravité de la tête pour les trois seuils de risque qui ont été définis : 25 %, 50 %, 80 % (Zhang, Yang et King, 2004). Par exemple, le risque de TCCL a été estimé à 25 % lorsqu'une personne subit une accélération angulaire de la tête d'environ $4\ 600\ \text{rad/s}^2$. Le temps de tolérance estimé pour les seuils de risque des accélérations linéaires était de 10 à 16 ms. Cela signifie que les seuils de risque des accélérations ont été définis selon un cadre expérimental spécifique et ce cadre prévoit qu'une personne pouvait subir, de manière continue, une accélération linéaire pour un laps de temps de 10 à 16 ms. Pour l'accélération angulaire, le temps de tolérance estimé était de 10 à 30 ms spécifiquement lors des impacts entre casques de football ou entre casques de protection avec rembourrage (Zhang, Yang et King, 2004).

Tableau 1.1 Seuils de risque de TCCL associés à l'accélération linéaire et à l'accélération angulaire de la tête
Tiré de Zhang, Yang et King (2004, p. 9)

Seuils de risque	Accélération linéaire	Accélération angulaire
25 %	66g	4 600 rad/s ²
50 %	82g	5 900 rad/s ²
80 %	106g	7 900 rad/s ²

Rowson et al. (2012) ont proposé des seuils de risque de TCCL lors de la pratique du football universitaire. Les joueurs de football ont porté un instrument de mesure à l'intérieur de leur casque lors des saisons 2007 à 2009. Un total de 286 636 impacts supérieurs à 14,4g a été enregistré et 57 TCCL ont été diagnostiqués par une équipe médicale. Les analyses statistiques, plus précisément des régressions logistiques, ont ensuite permis d'identifier cinq seuils de risque de TCCL : 10 %, 25 %, 50 %, 75 % et 90 %, tel que présenté au Tableau 1.2. Les seuils de risque de TCCL ont été associés à l'accélération angulaire et à la vitesse angulaire de la tête. Les auteurs ont choisi l'accélération angulaire, car elle est la cause principale des blessures diffuses au cerveau. De plus, les auteurs ont mentionné que sans la vitesse angulaire, il est difficile d'interpréter une relation entre l'accélération angulaire de la tête et la tolérance aux blessures (Rowson et al., 2012). Contrairement à Zhang, Yang et King (2004) qui ont utilisé un temps de tolérance de 10 à 30 ms pour l'accélération angulaire, Rowson et al. (2012) ont utilisé un critère à double seuil en incluant la vitesse angulaire qui permettait d'obtenir les informations de la composante temporelle. La vitesse angulaire a été sélectionnée, car elle possède une relation plus importante avec le mouvement relatif du cerveau que tout autre paramètre cinématique (Rowson et al., 2012).

Tableau 1.2 Seuils de risque de TCCL associés à l'accélération angulaire et à la vitesse angulaire de la tête
Tiré de Rowson et al. (2012, p. 7)

Seuils de risque	Accélération angulaire	Vitesse angulaire
10 %	5 260 rad/s ²	23,3 rad/s
25 %	5 821 rad/s ²	25,8 rad/s
50 %	6 383 rad/s ²	28,3 rad/s
75 %	6 945 rad/s ²	30,8 rad/s
90 %	7 483 rad/s ²	33,2 rad/s

Les seuils de risque de 25 % et 50 % de Zhang, Yang et King (2004) présentaient des amplitudes d'accélérations angulaires légèrement plus faibles que les amplitudes de Rowson et al. (2012). Pour le seuil de risque de 80 % de Zhang, Yang et King (2004), l'amplitude d'accélération angulaire était plus élevée que l'amplitude proposée au seuil de 75 % de Rowson et al. (2012).

Les seuils de risque présentés dans cette section ont été établis spécifiquement pour des joueurs de football, lors d'impacts impliquant le port d'un casque de protection. Bien que les joueurs et les joueuses de soccer ne portent pas de casque de protection, ces seuils de risque de TCCL peuvent toutefois être utilisés comme un indicateur de risque tel que suggéré par Hanlon et Bir (2012).

1.5 Mécanismes des TCCL au soccer

Lors de la pratique du soccer, les accélérations de la tête sont causées par deux types d'impacts : les impacts volontaires et les impacts involontaires. Ces mécanismes sont présentés dans cette section.

1.5.1 Impacts volontaires : techniques de tête

Lors de la pratique du soccer, les principales actions sont la passe, le botté, la réception du ballon, les actions défensives (attaque de l'équipe adverse) et les impacts volontaires

(techniques de tête). Parmi ces activités, les impacts volontaires (techniques de tête) ont été identifiés comme l'activité causant le plus grand nombre de blessures à la tête lors de la pratique du soccer (Comstock et al., 2015; Marar et al., 2012). Par exemple, au niveau secondaire, les techniques de tête sont responsables de plus de 30 % des TCCL chez les joueurs et de 25 % chez les joueuses (Comstock et al., 2015).

Les impacts volontaires entre la tête d'un joueur ou d'une joueuse et le ballon sont nommés techniques de tête. La fréquence des techniques de tête lors des matchs de compétition de soccer est influencée par les conditions météorologiques, les conditions de la surface de jeu et l'espace sur le terrain. La pluie peut altérer la surface du terrain naturel et former des mares d'eau et de boue, tandis que le temps chaud peut assécher la surface du terrain et ainsi générer du relief. Ces conditions ne sont pas idéales pour effectuer des passes au sol, alors les joueurs et les joueuses optent davantage pour le jeu aérien, ce qui augmente la probabilité d'exécuter des techniques de tête (Lennox et al., 2006).

Au soccer, dès l'âge de 13 ans, les joueurs et les joueuses pratiquent le soccer sur un terrain pour le jeu 11 contre 11 (ARSRS, 2016; US Youth soccer, 2012). Mais, lors de la saison d'automne et d'hiver, les matchs de compétition se déroulent à l'intérieur de stades, car les terrains extérieurs sont inaccessibles. À l'intérieur, les joueurs et les joueuses de tout âge, dont les adultes, jouent sur les terrains pour le jeu 7 contre 7, et ce, même si ces terrains sont normalement réservés aux joueurs et joueuses de soccer de moins de 13 ans. Le jeu aérien est donc favorisé par la restriction de l'espace et le nombre de techniques de tête tend à augmenter (Lennox et al., 2006).

Janda, Bir et Cheney (2002) ont déterminé que les joueurs de soccer âgés de 10 à 13 ans pouvaient réalisés plus de 450 techniques de tête en une année. Chez les professionnels, les techniques de tête sont généralement utilisées de cinq à six fois par match de compétition. Ainsi, pour une carrière de 15 ans, plus de 5 000 techniques de tête seront exécutées par un joueur professionnel, et ce, lors des matchs de compétition uniquement (Mehnert, Agesen et Malanga, 2005).

1.5.1.1 Types de technique de tête

Il existe plusieurs scénarios et situations de jeu pour lesquels la tête peut être utilisée pour rediriger le ballon. D'abord, la technique de tête offensive est souvent employée pour marquer des buts. Le ballon est dirigé vers le bas et le joueur peut être obligé de sauter afin d'atteindre le ballon, voir Figure 1.13. Une variante de la technique de tête offensive est la technique de tête de déviation, voir Figure 1.14. Il s'agit de toucher le ballon de manière excentrique, afin de changer la trajectoire initiale du ballon. Cette technique est particulièrement utilisée par les joueurs et les joueuses se trouvant dans la zone de but lors d'un coup de pied de coin. Le changement de direction soudain du ballon nécessite un mouvement de rotation de la tête. Une autre technique de tête employée dans la zone des buts est la tête plongeon, voir Figure 1.15. Cette technique de tête est caractérisée par un saut pratiquement à l'horizontale et par un atterrissage sur les bras et sur la poitrine.

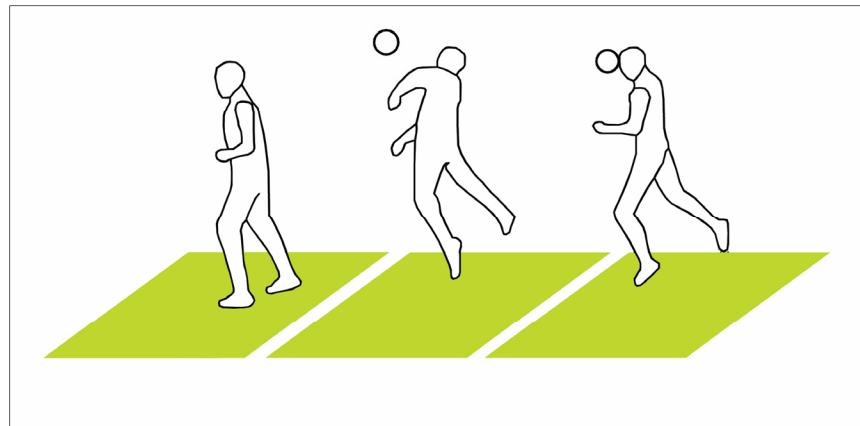


Figure 1.13 Technique de tête offensive
Tirée de Talk Football (2016)

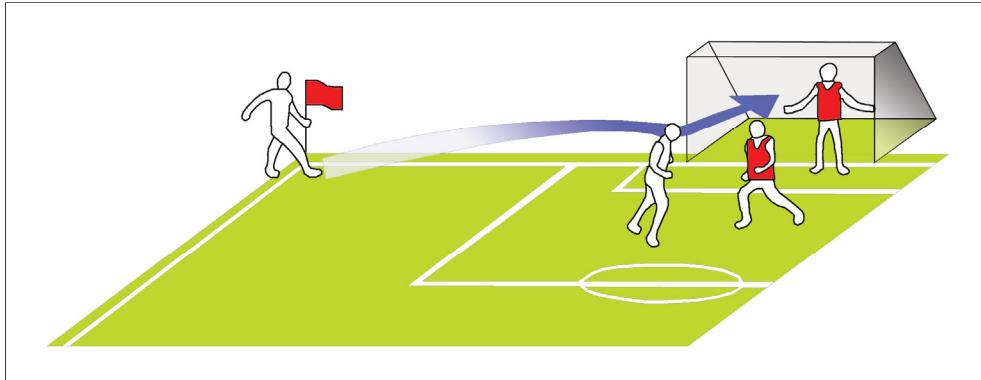


Figure 1.14 Technique de tête de déviation
Tirée de Talk Football (2016)

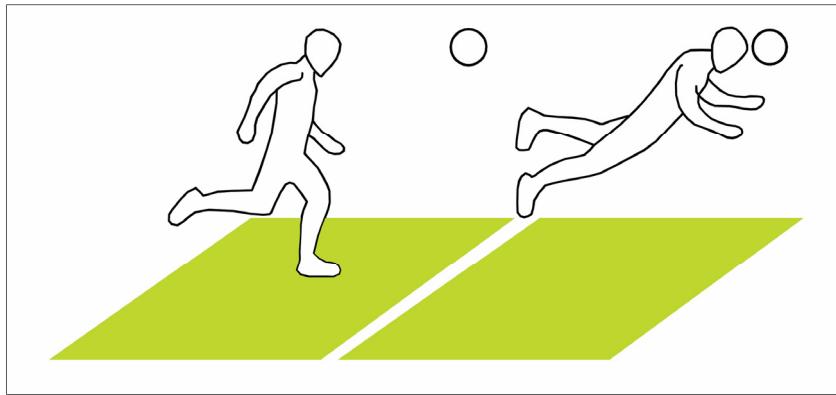


Figure 1.15 Technique de tête : tête plongeon
Tirée de Talk Football (2016)

La passe rapide avec la tête est présentée à la Figure 1.16. Elle consiste à recevoir sur la tête un ballon ayant passé au-dessus d'un joueur ou d'une joueuse adverse. L'impact du ballon se fait sur le haut de la tête et un mouvement vers l'arrière est réalisé par le joueur ou la joueuse afin de rediriger le ballon vers un troisième joueur ou une troisième joueuse. La technique de tête défensive présentée à la Figure 1.17, est similaire à la technique de tête offensive. Par contre, le saut pour atteindre le ballon est moins fréquent. Pour cette technique de tête, l'intensité de la force d'impact recherchée entre la tête et le ballon est maximale, car l'objectif est de ramener le ballon dans la zone adverse. Un mouvement de rotation de la tête peut aussi s'ajouter, car le joueur ou la joueuse doit diriger le ballon vers les côtés du terrain et non au centre. Finalement, il y a la technique de tête de contrôle qui permet d'utiliser la

tête pour arrêter la course du ballon et le ramener au pied du joueur ou de la joueuse, voir Figure 1.18 (Complete Soccer Guide, 2010).

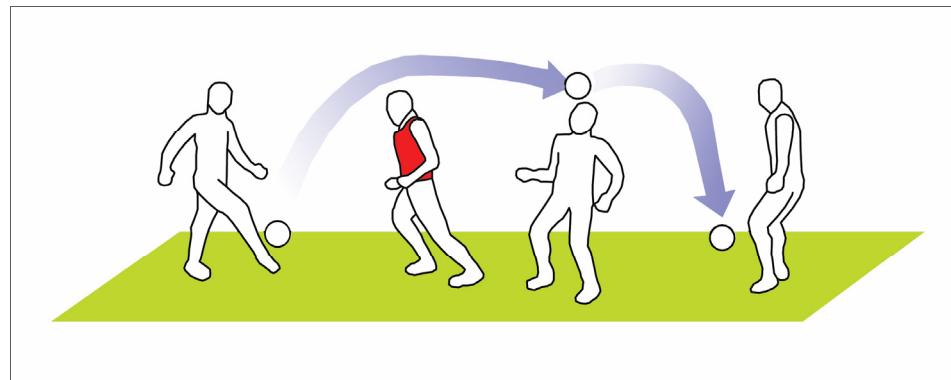


Figure 1.16 Technique de tête : passe rapide
Tirée de Talk Football (2016)

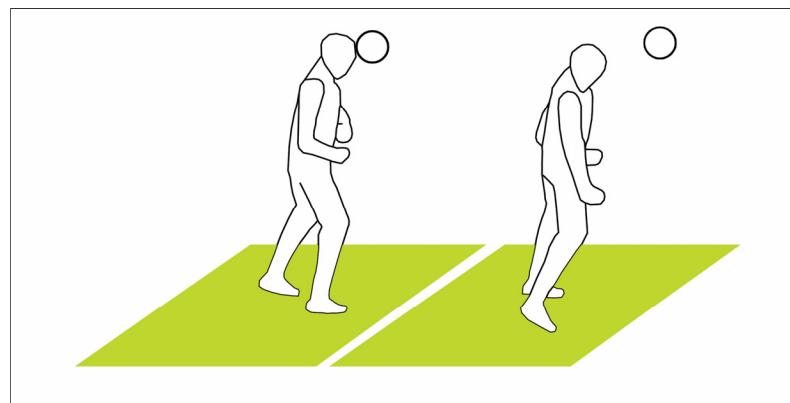


Figure 1.17 Technique de tête défensive
Tirée de Talk Football (2016)

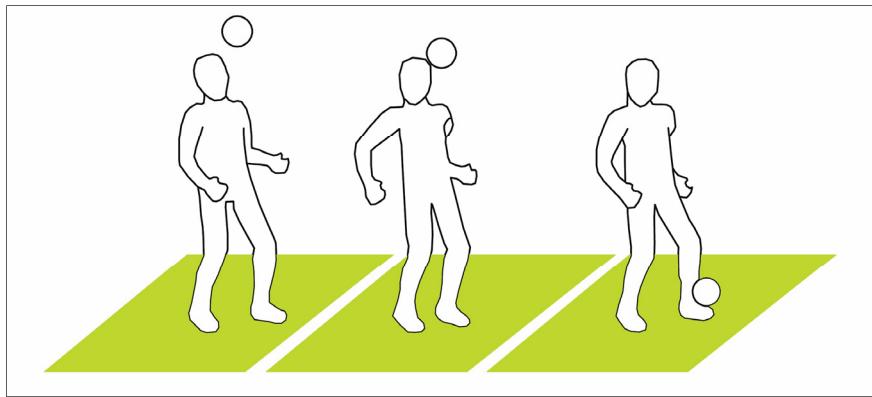


Figure 1.18 Technique de tête : contrôle du ballon avec la tête
Tirée de Talk Football (2016)

1.5.1.2 Phases des techniques de tête

Trois phases composent les techniques de tête : l'instant avant l'impact, le contact avec le ballon et la continuation. Lors du contact avec le ballon, l'impact avec la tête doit se faire sur le front et au niveau de la ligne des cheveux (Lennox et al., 2006). La continuation correspond à la poursuite du mouvement du joueur à la suite de l'impact entre la tête et le ballon.

Lors du contact avec le ballon, le joueur ou la joueuse doit aller vers le ballon. Il s'agit d'une étape importante, car il ne faut pas que le ballon entre en contact avec le joueur ou la joueuse (Harves, 2015). Si le joueur ou la joueuse se laisse frapper par le ballon, son corps absorbera l'énergie totale du ballon. Comme mentionnée à la section 1.4.2 Énergie, la quantité d'énergie absorbée peut être supérieure à la tolérance des tissus du corps du joueur ou de la joueuse et ainsi causer des blessures.

En 2014, des parents de jeunes joueurs et de jeunes joueuses de soccer ont intenté un recours collectif contre la Fédération Internationale de Football Association (FIFA), la US Youth Soccer, fédération des jeunes joueurs et joueuses de soccer des États-Unis, et l'American Youth Soccer Organization, organisation nationale des jeunes joueurs et jeunes joueuses de soccer des États-Unis. Ce recours collectif a été déposé pour négligence dans le traitement et

la surveillance des blessures à la tête (Strauss, 2015). C'est pourquoi, en novembre 2015, la US Youth Soccer a imposé une loi interdisant les techniques de tête chez les jeunes de moins de 10 ans (NBC Sports, 2015).

1.5.2 Impacts involontaires

Les types d'impacts involontaires tels que les contacts entre joueurs et entre joueuses et les contacts avec le ballon, le sol et les structures de but varient principalement en fonction de l'âge et du genre des joueurs et des joueuses. Par exemple, chez les 5 à 19 ans, le taux de blessure à la tête causé par le contact entre joueurs et entre joueuses augmente en fonction de l'âge et à l'inverse, le contact avec le sol et les structures de but diminue avec l'âge (Giannotti et al., 2010).

Toujours chez les 5 à 19 ans, le contact avec le ballon est plus important chez les joueuses que chez les joueurs. À l'inverse, le taux de contact entre joueurs est plus important que le taux de contact entre joueuses (Comstock et al., 2015; Giannotti et al., 2010). Le Tableau 1.3 regroupe les taux d'impacts involontaires reliés aux TCCL répertoriés chez les joueurs et chez les joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire.

Tableau 1.3 Regroupement des impacts involontaires chez les joueurs et les joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire
Tiré de Comstock et al. (2015)

	Contact avec un autre joueur	Contact avec ballon	Contact avec le sol
Joueurs	68,8 %	17 %	13,3 %
Joueuses	51,3 %	29 %	19,2 %

1.6 Facteurs d'influence sur le risque de TCCL au soccer

Cette section traite des facteurs qui ont une influence sur le risque de subir un TCCL. Parmi ces facteurs, il y a l'âge et le genre des joueurs (Petraglia, Bailes et Day, 2015) de même que l'état physique (Reilly, 1997) et psychologique (Chamard et al., 2013) des joueurs et des

joueuses. Le facteur de compétition (Gessel et al., 2007) et les équipements de protections (Naunheim et al., 2003; Takeda et al., 2005) sont aussi importants, car ils concernent tous les joueurs et les joueuses peu importe l'âge. Enfin, l'environnement des joueurs et des joueuses incluant le choix du ballon (FIFA, 2016), la température de l'air ambiant (Wiart et al., 2011) et le type de terrain (Turfgrass Resource Center, 2006) est aussi identifié comme un facteur considérable sur le risque de subir un TCCL.

1.6.1 Âge et genre des joueurs

Le développement musculaire n'est pas le même chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte. En effet, les forces musculaires varient en fonction de la période de croissance. De manière générale, les forces musculaires du cou et du dos sont moindres chez l'enfant et l'adolescent que chez l'adulte. Le risque de subir un TCCL est donc plus important, car les jeunes joueurs et les jeunes joueuses ont plus de difficulté que les joueurs et joueuses adultes à maintenir l'unité formée par la tête et le reste du corps, ce qui augmente les accélérations subies à la tête (Backous et al., 1988; Collins et al., 2014; Mansell et al., 2005).

Le développement musculaire permet aussi d'expliquer que les joueuses ont un plus grand risque que les joueurs de subir un TCCL. Tierney et al. (2005) ont rapportés que l'activation des muscles du cou se faisait plus rapidement chez les participants féminins. Malgré ce constat, la tête des participantes subissait une accélération angulaire maximale plus élevée de 50 % comparativement aux participants masculins. Ces auteurs ont aussi mentionné que les participants féminins de cette étude présentaient une force isométrique du cou inférieure de 49 % en comparaison aux participants masculins, une circonférence du cou inférieure de 30 % et une masse du segment tête-cou inférieure de 43 %. Ces paramètres ont engendré une rigidité inférieure du segment tête-cou de 29 %, ce qui s'est traduit par une instabilité plus importante du segment tête-cou chez les participants féminins (Petraglia, Bailes et Day, 2015). Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008) ont obtenu non seulement des conclusions semblables, mais ils ont aussi affirmé que le cou des participants féminins et des participants masculins ne possédait pas une géométrie similaire. Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008)

ont aussi affirmé que le poids des participants avait une influence sur les paramètres anthropométriques du segment tête-cou des participants.

1.6.2 État physique et psychologique des joueurs et des joueuses

L'état physique et psychologique des joueurs et des joueuses est un facteur particulier, car il varie tout au long des entraînements et des matchs de compétition. Par exemple, l'état physique d'un joueur ou d'une joueuse peut être modifié au cours d'un entraînement ou d'un match de compétition si la température de l'air ambiant est élevée et si le joueur ou la joueuse ne s'hydrate pas adéquatement. Lors de matchs de compétition se déroulant à une température de l'air ambiant élevée, les joueurs et les joueuses peuvent perdre jusqu'à 3 litres d'eau (Reilly, 1997). Par exemple, une perte d'eau d'environ 3 % de la masse corporelle a été mesurée à une température de l'air ambiant de 33 °C et une humidité relative de 40 %, et à une température de l'air ambiant de 26,3 °C et une humidité relative de 78 % (Reilly, 1997). Lors d'un match de compétition, il est aussi possible que le nombre de joueurs et de joueuses soit limité, ce qui peut augmenter de façon importante le temps de jeu et, par le fait même, la distance parcourue par les joueurs et les joueuses. Par exemple, les joueurs et les joueuses à la position de milieu de terrain parcourent environ 10 km lors d'un match de compétition (Reilly, 1997). La température de l'air ambiant et l'effort physique continu peuvent avoir une influence sur la fatigue physiologique des joueurs et des joueuses, ce qui pourrait se traduire par une difficulté à former l'unité entre la tête et le reste du corps lors des techniques de tête et des impacts involontaires. Rahnama, Reilly et Lees (2002) ont déterminé que chez les joueurs professionnels, le plus grand nombre d'activités qui pouvaient causer une blessure (contact entre joueurs, technique de tête et botter du ballon) survenait lors des 15 premières et des 15 dernières minutes de chaque période de jeu. L'intensité du jeu des joueurs a été proposée par les auteurs pour justifier les actions en début de période de jeu et la fatigue des joueurs a été proposée par les auteurs pour justifier les actions en fin de périodes de jeu (Rahnama, Reilly et Lees, 2002).

L'état psychologique des joueurs et des joueuses correspond plutôt à l'état de concentration. Par exemple, un joueur peut être distrait par des problèmes personnels ou de la fatigue psychologique. L'historique de TCCL peut aussi influencer les réactions des joueurs et des joueuses en situation de jeu. En effet, les altérations microstructurales présentent dans la substance blanche à la suite d'un ou de plusieurs TCCL peuvent influencer la transmission des informations au cerveau qui permet la prise de décision adéquate (Chamard et al., 2013). L'état psychologique est aussi important que l'état physique, car un joueur ou une joueuse qui est distrait peut être moins conscient des conséquences associées à leur décision lors des situations de jeu.

1.6.3 Compétition

Comme tous les sports, le soccer est pratiqué dans le but de se divertir. Toutefois, la compétition reste un élément important dans ce sport. La compétition peut se traduire par l'intensité du jeu, qui consiste en l'énergie des joueurs et des joueuses et en la démonstration de leur présence envers l'équipe adverse (Rahnama, Reilly et Lees, 2002). Par exemple, au cours d'un match de compétition, si une équipe perd, elle tentera d'augmenter son intensité de jeu afin d'égaliser le nombre de buts. Elle peut se traduire par des contacts entre joueurs ou entre joueuses et par des courses de grande intensité. L'intensité du jeu dépend aussi de la ligue dans laquelle l'équipe participe. Au Québec, il existe plusieurs ligues : locale, régionale A, interrégionale AA et provinciale AAA (ARSRS, 2016). Les ligues locales acceptent tous les joueurs et joueuses, alors la compétition est de type amical. Les ligues régionales A sont accessibles dès l'âge de huit ans. Les joueurs et les joueuses participent à des camps de sélection pour faire partie de ces équipes, il y a donc présence de compétition. Les ligues interrégionales AA concernent les joueurs et les joueuses ayant au moins 10 ans. Les équipes de ces ligues représentent plusieurs villes et même plusieurs régions, ce qui augmente la quantité de joueurs et de joueuses participants aux camps de sélection et, par le fait même, le niveau de compétition. La ligue provinciale AAA inclut des joueurs et des joueuses de plus de 14 ans. Elle est composée d'équipes provenant de partout à travers le Québec. Le niveau de compétition est le plus élevé dans cette ligue, car les recruteurs des

universités canadiennes et américaines sélectionnent les joueurs et les joueuses participant à cette ligue. Par conséquent, l'intensité du jeu est toujours au maximum.

Le facteur compétition varie non seulement dans les ligues de soccer, mais aussi entre les entraînements et les matchs de compétition. Lors des entraînements, les joueurs ne veulent pas blesser leurs coéquipiers avec un contact physique. De ce fait, l'intensité du jeu diminue lors des entraînements et augmente lors des matchs de compétition. L'intensité du jeu influence le risque de TCCL pour tous les joueurs et les joueuses de soccer. Par exemple, chez les professionnels, les matchs de compétition engendrent un risque de subir un TCCL 78 fois plus élevé que les entraînements (Nilsson et al., 2013). Chez les joueurs et joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire, les matchs de compétition présente aussi un taux plus élevé de TCCL que les entraînements, tel que présenté au Tableau 1.4 (Gessel et al., 2007).

Tableau 1.4 Taux de TCCL par exposition de 1000 joueurs et joueuses
de niveau secondaire et de niveau universitaire
Tiré de Gessel et al. (2007)

	Secondaire		Universitaire	
	Joueurs	Joueuses	Joueurs	Joueuses
Entraînements	0,04	0,09	0,24	0,25
Matchs de compétition	0,59	0,97	1,38	1,80

1.6.4 Équipements de protection

Les équipements pour la protection de la tête sont limités lors de la pratique du soccer. Les équipements acceptés par la FIFA sont le protecteur buccal et le bandeau de protection et sont présentés dans cette sous-section.

1.6.4.1 Protecteur buccal

Le protecteur buccal est utilisé principalement dans les sports de contact comme la boxe, le hockey et le football. Il permet de protéger les dents et la mâchoire, mais Takeda et al. (2005) ont démontré que le protecteur buccal permet aussi de réduire l'accélération linéaire de la tête. D'autres études, tels que Narimatsu et al. (2015), ont déterminé que le port d'un protecteur buccal peut réduire le risque de subir un TCCL spécifiquement lors de la pratique du soccer. En effet, le port du protecteur buccal combiné au serrement des dents engendre une plus grande activité musculaire des sternocléidomastoïdiens et, par le fait même, une réduction des accélérations de la tête (Narimatsu et al., 2015).

1.6.4.2 Bandeau de protection

Bien que le soccer se pratique sans casque de protection, les joueurs et les joueuses peuvent porter des bandeaux de protection. Le port de bandeaux de protection est toutefois grandement controversé. En effet, certaines études ont déterminé que les bandeaux permettaient de réduire le risque de subir un TCCL lors de la pratique du soccer (Delaney et al., 2008), alors que d'autres études ont rapporté l'inverse (Elbin et al., 2015; Naunheim et al., 2003; Tierney et al., 2008).

Naunheim et al. (2003) ont étudié des bandeaux de protection en vente libre et ont conclu que ces bandeaux ne permettaient pas d'atténuer les impacts à la tête spécifiquement lors d'un contact entre la tête et le ballon de soccer. Le problème concerne la rigidité relative entre les bandeaux de protection et le ballon. De manière générale, les casques de protection tels que le casque de football permettent d'atténuer les impacts entre la tête et un objet très rigide comme le casque de protection d'un autre joueur ou le sol. Les matériaux souples à l'intérieur du casque de football se déforment et permettent de dissiper l'énergie lors des impacts. Ces matériaux augmentent la durée nécessaire pour transférer le moment cinétique à la tête, ce qui réduit les accélérations de la tête lors des impacts. Sans le casque de protection, la dissipation d'énergie ne serait pas possible lors des impacts entre la tête et un objet rigide. La tête absorberait alors l'énergie et se déformerait. Au soccer, le ballon se déforme lors des

impacts entre la tête et le ballon, ce qui permet la dissipation de l'énergie. Par conséquent, Naunheim et al. (2003) ont rapporté qu'un bandeau de protection idéal permettrait l'augmentation de la durée du transfert du moment cinétique à la tête. Les auteurs ont mentionné que cette augmentation serait possible seulement si un bandeau de protection peut se déformer autant que le ballon et si le bandeau de protection ne se comprime pas entièrement. Ils ont ajouté qu'un bandeau de protection souple d'une épaisseur considérable serait comprimé en totalité avant que le ballon ait complété l'impact avec la tête. De ce fait, le bandeau de protection ne permettrait pas de réduire les accélérations de la tête (Naunheim et al., 2003).

Tierney et al. (2008) ont aussi rapporté que le risque de subir un TCCL est augmenté lors du port de bandeau de protection, et ce, principalement chez les joueuses. Le bandeau de protection ajoute un poids à la tête, ce qui peut avoir des répercussions sur la formation de l'unité entre la tête et le reste du corps lors d'un impact et ainsi causer une augmentation des accélérations de la tête.

1.6.5 Environnement

L'utilisation d'un ballon qui a une masse ou une pression trop importante augmente le risque de blessure à la tête. C'est pourquoi la FIFA impose des limites sur plusieurs paramètres physiques caractérisant le ballon de soccer, voir Tableau 1.5.

Tableau 1.5 Limites des paramètres physiques du ballon de soccer
définies par la FIFA
Tiré de FIFA (2016, p. 29)

Paramètres	Valeurs
Circonférence	680 - 700 mm
Masse	410 - 450 g
Pression	0,6 - 1,1 bar
Absorption d'eau	< 20 % de la masse du ballon
Matériau	Cuir synthétique ou autre matériau adapté

La température de l'air ambiant peut aussi modifier les propriétés dynamiques du ballon de soccer (Wiart et al., 2011). Lorsque la température de l'air ambiant est élevée, pour une même distance de parcourt, la force appliquée au ballon est réduite en comparaison avec celle nécessaire lorsque la température de l'air ambiant est plus faible. De plus, à haute température, le ballon voyage plus rapidement et possède un déplacement vertical plus important (Wiart et al., 2011).

Le soccer est pratiqué sur des terrains composés de gazon naturel ou artificiel (synthétique). Mais, le terrain synthétique est grandement critiqué pour son absorption de chaleur qui augmente considérablement la température de l'air ambiant sur le terrain. Les températures de l'air ambiant enregistrées pour les terrains naturels varient de 26 à 31 °C contre 47 à 69 °C pour les terrains synthétiques (Turfgrass Resource Center, 2006). Ces températures de l'air ambiant plus élevées peuvent avoir des conséquences sur les propriétés dynamiques du ballon et sur l'état physique des joueurs et des joueuses, tel que mentionné à la section 1.6.2 État physique et psychologique des joueurs.

1.7 Conséquences des TCCL

Cette section présente les conséquences à court et long terme des accélérations de la tête sous les seuils de risque de TCCL et présente les conséquences des TCCL multiples chez un joueur et une joueuse.

1.7.1 Conséquences à court terme

Les impacts répétitifs engendrant des accélérations de la tête de faible amplitude peuvent entraîner des modifications anatomiques (Lipton et al., 2013) et physiologiques (Meythaler et al., 2001) de l'encéphale. Les impacts répétitifs qui engendent des accélérations de la tête de faible amplitude peuvent altérer des protéines se trouvant dans le cerveau et peuvent aussi causer des micros-déchirures des axones. Ces impacts répétitifs ont pour conséquence d'augmenter la vulnérabilité du cerveau à subir un TCCL comparativement à un impact unique de grande intensité (Petraglia, Bailes et Day, 2015). Des études réalisées à l'aide de

modèles animaux ont permis d'établir que les impacts répétitifs qui engendraient des accélérations de la tête de faible amplitude occasionnaient des lésions axonales diffuses, et ce, sans changement du comportement ou de l'état de conscience des sujets (Petraglia, Bailes et Day, 2015).

Lipton et al. (2013) ont réalisé une étude sur les modifications microstructurales de la substance blanche du cerveau chez des joueurs et des joueuses pratiquant le soccer amateur. Les auteurs ont précisé que les joueurs et les joueuses qui ont subi un TCCL à la suite d'un impact unique de grande intensité peuvent récupérer complètement de cette blessure, car les mécanismes de régénération du tissu nerveux fonctionnent adéquatement lors de ce type d'impact. Cependant, ces mécanismes de régénération seraient surpassés par la quantité et la fréquence des micros-blessures causées par les impacts répétitifs causant des accélérations de la tête de faible amplitude (Lipton et al., 2013). Une étude a révélé que l'exécution de techniques de tête causait des symptômes de TCCL chez des jeunes joueurs de soccer (Janda, Bir et Cheney, 2002). Dans cette étude, une relation de proportionnalité inverse entre le nombre de techniques de tête et l'apprentissage verbal a été déterminée. Malgré ces constats, des études telles que Lovell (2004), Colvin et al. (2009) et O'Kane (2016) affirment que les techniques de tête ne peuvent pas être considérées comme un facteur de risque.

Dans l'étude de Iverson et al. (2004), les joueurs qui avaient subi des TCCL répétitifs souffraient d'un plus grand nombre de symptômes et étaient six fois plus susceptibles de souffrir de troubles de mémoire que les joueurs ayant subi un seul TCCL. D'autre part, la période de résolution des symptômes est plus longue chez les adolescents que chez les adultes. Par exemple, le temps moyen de résolution des symptômes et de résolution des troubles de la mémoire chez les jeunes du secondaire est de 10 à 14 jours contre 5 à 7 jours chez les joueurs universitaires, et de 2 à 5 jours chez les professionnels (Petraglia, Bailes et Day, 2015). Les symptômes peuvent persister plus longtemps chez certaines personnes. En effet, 14 % des jeunes de 6 à 18 ans souffrent de symptômes 3 mois après un TCCL et 2,3 % des enfants et des adolescents (18 ans et moins) vivent toujours avec des symptômes un an après le TCCL (Barlow et al., 2010; Petraglia, Bailes et Day, 2015). Une personne peut être

asymptomatique, mais le cerveau peut toutefois présenter des anomalies électrophysiologiques (Theriault et al., 2009) et des altérations microstructurales (Chamard et al., 2013), ce qui augmente la vulnérabilité de subir de nouveaux TCCL.

Dans l'étude de De Beaumont et al. (2012), les participants qui avaient subi plusieurs TCCL présentaient une augmentation persistante d'un neurotransmetteur inhibiteur associé à la suppression de la plasticité synaptique. La plasticité synaptique correspond à la propriété des connexions des neurones à se modifier et s'adapter, au fil du temps, en réponse à l'augmentation ou la diminution de leur excitation (TERMIUM Plus, 2016). De Beaumont et al. (2012) avaient conclu que chez les participants ayant subi plusieurs TCCL, la suppression de la plasticité synaptique était associée à une réduction de l'apprentissage moteur implicite. Aussi, les participants de l'étude de Theriault et al. (2011) qui souffraient de plus de trois TCCL ont présenté une anomalie électrophysiologique reliée à la mémoire visuo-spatiale plus importante que les participants ayant subi un ou deux TCCL.

Des conséquences de nature hormonale ont aussi été détectées à la suite de TCCL comme une insuffisance hypophysaire qui peut persister sur une période de 12 mois (Acerini et al., 2006). L'hypothalamus est le centre de régulation des fonctions physiologiques et l'hypophyse est une glande régulée par l'hypothalamus; ils sont importants dans le développement de l'enfant et de l'adolescent. Les déficiences hormonales peuvent avoir des conséquences considérables sur le développement normal de l'enfant et de l'adolescent de même que chez l'adulte (Acerini et al., 2006).

1.7.2 Conséquences à long terme

Les TCCL multiples peuvent avoir des conséquences importantes au cerveau, et ce, même si la personne est asymptomatique. De Beaumont et al. (2007) ont démontré que les résultats d'examens neuropsychologiques étaient équivalents entre les participants qui avaient subi plusieurs TCCL et les participants qui n'avaient subi aucun TCCL ou un seul TCCL. Mais le cerveau des participants ayant subi plusieurs TCCL présentait des modifications

électrophysiologiques, malgré que le dernier TCCL datait de plus de trois ans (De Beaumont et al., 2013; De Beaumont et al., 2007). Des modifications électrophysiologiques similaires ont aussi été identifiées chez des participants asymptomatiques dont le dernier TCCL datait de plus de 30 ans (De Beaumont et al., 2009).

En plus des modifications électrophysiologiques, des altérations structurales peuvent aussi survenir à long terme. Par exemple, dans l'étude de Tremblay et al. (2014), des participants cliniquement sains, et dont le dernier TCCL datait de plus de 24 ans, ont présenté des anomalies diffuses de la substance blanche.

L'encéphalopathie traumatique chronique est une maladie reliée aux dommages du cerveau. Elle se définit comme un syndrome neurodégénératif progressif qui peut résulter d'un impact unique ou d'impacts répétitifs engendrant l'accélération du cerveau (Petraglia, Bailes et Day, 2015). Cette maladie se développe généralement au cours de plusieurs années à la suite de TCCL. Les symptômes récurrents sont des troubles de l'humeur, des troubles neuropsychiatriques de même qu'une déficience cognitive (Petraglia, Bailes et Day, 2015). À ce jour, il n'existe pas de traitement pour contrer cette maladie neurodégénérative (Albayram et al., 2016).

En Ontario, une étude réalisée sur une période de 20 ans a évalué le risque de suicide à la suite de TCCL. Fralick et al. (2016) avaient conclu qu'à la suite d'un seul TCCL, le taux de suicide dépassait trois fois la norme de la population. Les auteurs ont aussi affirmé que pour chaque TCCL supplémentaire, le risque de suicide augmentait de 30 %. Le délai moyen entre le TCCL et le suicide était d'environ 5,7 ans (Fralick et al., 2016).

1.8 Études sur les TCCL au soccer

Cette section recense les diverses études reliées aux TCCL lors de la pratique du soccer. Les types d'études abordées sont des études statistiques, en laboratoire, numériques et les études réalisées en situation de jeu en temps réel.

1.8.1 Études statistiques

Les études statistiques ont permis de quantifier la fréquence des TCCL chez les enfants (Giannotti et al., 2010), les adolescents (Gessel et al., 2007) et les adultes (Nilsson et al., 2013) pratiquant le soccer. Les TCCL causés par la pratique du soccer ont engendré 15 % des hospitalisations des joueurs canadiens et des joueuses canadiennes âgés de 5 à 19 ans pour les années 1994 à 2004 (Giannotti et al., 2010). Pour les adolescents, chez les joueurs, les TCCL correspondent à 15,4 % des blessures totales et 21,5 % chez les joueuses (Gessel et al., 2007). Chez les adultes professionnels, les TCCL causent 2,2 % des blessures totales (Nilsson et al., 2013). Les mécanismes des TCCL spécifiques au soccer tels que les techniques de tête, le contact entre joueurs et entre joueuses et le contact avec le ballon, le sol et les structures de but ont aussi été identifiés par les études statistiques. Par exemple, les techniques de tête causent plus de 30 % des TCCL chez les joueurs et plus de 25 % des TCCL chez les joueuses de niveau secondaire (Comstock et al., 2015). Les statistiques de l'étude de Comstock et al. (2015) concernant le contact entre joueurs et entre joueuses, le contact avec le ballon et avec le sol sont regroupées au Tableau 1.3.

1.8.2 Études en laboratoire et par MÉF

Les études en laboratoire sont réalisées à l'aide de modèle animaux (Ommaya et Hirsch, 1971), de mannequins anthropomorphes (Bartsch et al., 2012; Zhang, Yang et King, 2004) et de participants humains (Gutierrez, Conte et Lightbourne, 2014; Rowson et al., 2012). Ces études ont permis d'identifier les amplitudes des accélérations de la tête pouvant causer des dommages au cerveau qui ont été défini comme des seuils de risque, tel que présenté au Tableau 1.1 (Zhang, Yang et King, 2004) et au Tableau 1.2 (Rowson et al., 2012). La relation entre la force d'impact et les forces musculaires du segment tête-cou provient aussi de ces études (Ommaya, Goldsmith et Thibault, 2002). D'autre part, les facteurs d'influence sur le risque de subir un TCCL tels que les paramètres physiques du ballon (Shewchenko et al., 2005b), le type de terrain (Turfgrass Resource Center, 2006) et les protections des joueurs et des joueuses (Tierney et al., 2008) ont été décelés grâce à ces études.

Bien que les études en laboratoires ont permis d'améliorer les connaissances des TCCL lors de la pratique du soccer, certains facteurs ne peuvent pas être inclus dans ces études. Par exemple, lors d'étude avec des participants humains, le facteur de compétition entre les joueurs et entre les joueuses ne peut pas être répliqué, car il ne s'agit pas de match de compétition. D'autres paramètres, tels que la vitesse de déplacement du ballon, sont aussi modifiés afin de minimiser le risque de blessure. Par exemple, la vitesse du ballon est généralement de 6 à 8 m/s en laboratoire alors qu'elle est environ de 18 m/s chez les joueurs de niveau secondaire lors de match de compétition (Shewchenko et al., 2005a).

Les études numériques via l'exploitation de MÉF sont généralement utilisées conjointement avec les études en laboratoire. L'utilisation des MÉF a permis de proposer les seuils de risque de TCCL selon les accélérations subies à la tête (Rowson et al., 2012; Zhang, Yang et King, 2004), d'étudier la biomécanique du segment tête-cou lors d'une impulsion à la tête (Ommaya, Goldsmith et Thibault, 2002) et d'évaluer les blessures résultantes au cerveau telles que les lésions axonales diffuses (Chatelin et al., 2011).

1.8.3 Études en situation de jeu en temps réel

Les mesures des accélérations de la tête des joueurs et des joueuses en temps de jeu réel sont restreintes principalement par les instruments de mesure qui nécessitent généralement l'usage de fils. Ces fils limitent les déplacements des joueurs et des joueuses, ce qui ne permet pas l'utilisation de ces instruments de mesure lors des entraînements et des matchs de compétition. Plusieurs technologies, telles que le Head Impact Telemetry System (HITS) (Simbex, Lebanon, NH) et le xPatch (X2 biosystem, Seattle, WA) ont été développées au cours des dernières années. Ces technologies ont permis la réalisation de trois études en situation de jeu en temps réel.

1.8.3.1 Étude de Hanlon et Bir (2012)

La première étude, réalisée par Hanlon et Bir (2012), utilisait le système HITS. Le système HITS est grandement utilisé au football et est populaire auprès de la NFL. Ce système,

composé de six accéléromètres, est intégré dans les casques de protection utilisés au football. Comme le soccer est un sport se pratiquant sans casque de protection, Hanlon et Bir (2012) ont inséré les accéléromètres à l'intérieur d'un bandeau de protection, voir Figure 1.19. Le système a été validé avec un mannequin Hybrid III et le coefficient de corrélation pour les accélérations linéaires était de 0,94 et de 0,92 pour les accélérations angulaires (Hanlon et Bir, 2010). Le système HITS ne peut plus être utilisé pour les études des TCCL lors de la pratique du soccer, car il est maintenant exclusif aux études en lien avec le football.

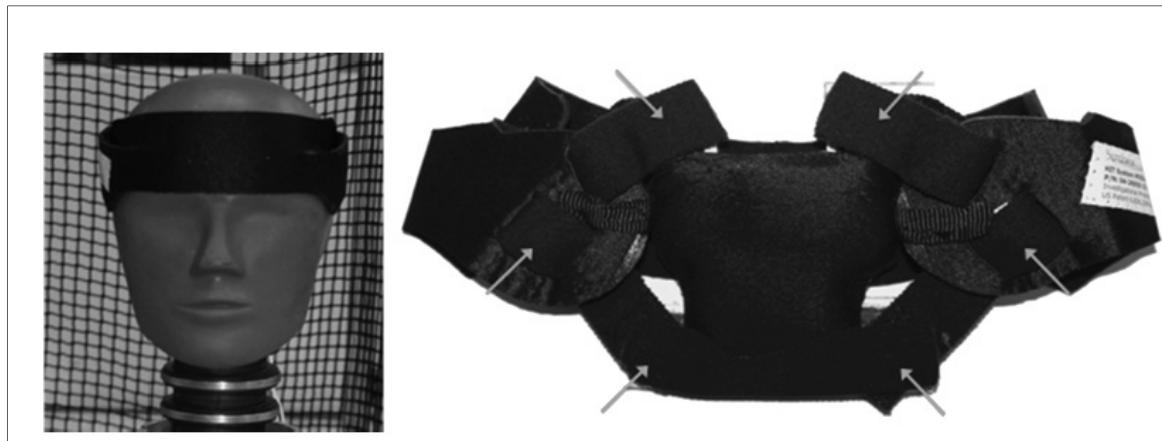


Figure 1.19 Système HITS ajusté sur un Hybrid III et identification des accéléromètres
Tirée de Hanlon et Bir (2012, p. 1103)

Un total de 24 joueuses âgées de 13 et 14 ans a participé à l'étude de Hanlon et Bir (2012). Le but de cette étude était de mesurer en temps de jeu réel les accélérations de la tête des joueuses. Les acquisitions des accélérations se sont déroulées lors de matchs intra-équipes réalisés au cours de six entraînements de soccer. Certaines joueuses ont participé à plus d'une séance. Hanlon et Bir (2012) ont choisi de compter ces joueuses comme de nouvelles joueuses lors des autres entraînements. Les auteurs ont aussi séparé les activations des bandeaux de protection instrumentés du système HITS en technique de tête et en impacts involontaires. Les impacts involontaires ont été classés selon différentes catégories comme le contact entre joueuses et le contact au sol. Toutes les activations ont été classées selon la région de la tête impliquée lors des techniques de tête et lors des impacts involontaires.

Un total de 47 techniques de tête et de 20 impacts involontaires ont été enregistrés. Le nombre maximum d'activations du système HITS pour une joueuse lors du même entraînement a été de quatre. Les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête des joueuses lors des techniques de tête ont varié respectivement de 4,5g à 63g et de 179,5 rad/s² à 8 869 rad/s² (Hanlon et Bir, 2010). Pour les impacts involontaires, les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête des joueuses ont varié respectivement de 5,0g à 56,7g et 497,5 rad/s² à 5 179,5 rad/s² (Hanlon et Bir, 2010). Le contact entre joueuses a été la cause la plus fréquente des impacts involontaires. Pour les régions de la tête impliquée lors des techniques de tête, le front a été la région la plus fréquente. Lors des impacts involontaires, trois régions ont obtenu le même nombre d'activations du système HITS soient le front, le côté gauche et le dessus de la tête.

Les amplitudes des accélérations de la tête ont été confrontées aux seuils de risque de TCCL proposés par Zhang, Yang et King (2004), voir Tableau 1.1. Comme pour les études en laboratoire, le facteur de compétition n'était pas présent dans cette étude, car il ne s'agissait pas de match de compétition. Malgré l'absence de ce facteur, les amplitudes des accélérations angulaires de la tête des joueuses mesurées ont été considérables. Les accélérations angulaires de la tête des joueuses engendrées par les techniques de tête ont atteint plus de 4 000 rad/s² et même 8 869 rad/s², dépassant le risque de 80 % de subir un TCCL selon le critère de Zhang, Yang et King (2004) (Hanlon et Bir, 2012). Pour les impacts involontaires, la valeur maximale mesurée de l'accélération angulaire de la tête des joueuses était de 5 179,5 rad/s², dépassant le risque de 25 % de subir un TCCL selon le critère de Zhang, Yang et King (2004) (Hanlon et Bir, 2012). Les auteurs ont conclu que les techniques de tête engendraient des accélérations de la tête des joueuses plus importantes que les impacts involontaires. Hanlon et Bir (2012) ont mentionné qu'aucun TCCL n'a été diagnostiqué au cours de cette étude.

Le but de l'étude de Hanlon et Bir (2012) était de mesurer en temps réel les accélérations de la tête de joueuses de soccer. La fréquence des techniques de tête et la fréquence des impacts involontaires ont été analysées dans cette étude. Les types d'impacts involontaires ainsi que

la région de la tête impliquée lors des techniques de tête et lors des impacts involontaires ont aussi été étudiés. Cependant, le type de techniques de tête de même que l'influence du rôle et de la position des joueuses sur le terrain, de la température de l'air ambiant, du type de terrain, des propriétés physiques du ballon, du facteur de compétition et des paramètres anthropométriques du segment tête-cou des joueuses n'ont pas été analysés dans cette étude.

1.8.3.2 Étude de McCuen et al. (2015)

La seconde étude, réalisée par McCuen et al. (2015), utilisait le système xPatch. Le xPatch est un dispositif installé sur le processus mastoïde droit (région inférieure de l'os temporal) à l'aide d'un adhésif, voir Figure 1.20. Ce dispositif est composé de six degrés de liberté et dispose d'une capacité d'enregistrement allant jusqu'à six heures. Le xPatch enregistre en continu. Les données sont ensuite filtrées pour conserver seulement les accélérations supérieures à 10g. Le dispositif a été validé pour le football et le soccer. Pour le soccer, le mannequin Hybrid III a été utilisé. Lorsque le xPatch se trouvait au processus mastoïde droit, l'erreur quadratique moyenne maximale obtenue était de 40,1 % pour l'accélération linéaire maximale et de 48,1 % pour l'accélération angulaire maximale (McCuen et al., 2015). Par conséquent, tel que mentionné par McCuen et al. (2015), lorsqu'un impact engendrait une accélération linéaire de 40g, le xPatch pouvait faire une lecture variant de 20g à 60g.



Figure 1.20 Dispositif xPatch
Tirée de Soper (2015)

Dans l'étude de McCuen et al. (2015), 29 joueuses de niveau secondaire âgées de 15,7 ans ont été sélectionnées ainsi que 14 joueuses de niveau universitaire âgées de 18,7 ans. Le but de cette étude était de quantifier les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire. Les entraînements et les matchs de compétition ont été regroupés sous forme de session individuelle. Les auteurs ont choisi d'utiliser un seuil minimal de 20g afin d'éliminer les accélérations de faible amplitude.

Pour cette étude, les joueuses de niveau secondaire ont subi en moyenne 2,1 impacts par session, ce qui inclut les entraînements et les matchs de compétition. La moyenne d'accélération linéaire était de 37,6g et de 7 523 rad/s² pour l'accélération angulaire (McCuen et al., 2015). Les joueuses de niveau universitaire ont subi en moyenne 4,6 impacts par session incluant aussi les entraînements et les matchs de compétition. La moyenne d'accélération linéaire de la tête des joueuses était de 39,3g et de 7 713 rad/s² pour l'accélération angulaire (McCuen et al., 2015). Les nombres d'activations du xPatch selon les entraînements et les matchs de compétition pour les joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire sont regroupés au Tableau 1.6.

Tableau 1.6 Nombre d'impacts selon le type de session pour les joueuses de niveau secondaire et universitaire
Tiré de McCuen et al. (2015, p. 3722)

Type de session	Secondaire	Universitaire
Entraînements	1,69	3,52
Matchs de compétition	2,85	4,59

Selon les seuils de risque de TCCL proposés par Zhang, Yang et King (2004), voir Tableau 1.1, les accélérations linéaires de la tête des joueuses ne dépassaient pas le seuil du 25 % de risque de subir un TCCL, et ce, pour les joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire. Par contre, les accélérations angulaires de la tête des joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire dépassaient le risque de 50 % de subir un TCCL.

Le nombre de sessions n'a pas été spécifié par les auteurs, de même que le nombre total d'activations du xPatch et le nombre d'activations du xPatch en fonction du type de session. Comme le but de cette étude était de quantifier les amplitudes des accélérations de la tête de joueuses de soccer de niveau secondaire et de niveau universitaire, les auteurs n'ont pas étudié l'influence du rôle et de la position des joueuses sur le terrain, ou si les activations du xPatch survenaient au début ou en fin de session. De plus, l'analyse des activations du xPatch a été documentée par session, ce qui ne permettait pas d'étudier l'influence du temps de jeu. Par exemple, un joueur peut être sur le terrain peu de temps et subir une activation du xPatch, alors qu'un autre joueur peut rester sur le terrain tout au long de la session et aussi subir une seule activation du xPatch. Ces joueurs auront donc le même nombre d'activations pour la session sans toutefois avoir le même temps de jeu. Le type de techniques de tête et d'impacts involontaires de même que l'influence du rôle et de la position des joueuses sur le terrain, le résultat final du match de compétition, de la température de l'air ambiant, du type de terrain, des propriétés physiques du ballon et des paramètres anthropométriques du segment tête-cou des joueuses n'ont pas été analysés dans cette étude. Finalement, McCuen et al. (2015) n'ont pas spécifié si des TCCL ont été diagnostiqués lors de cette étude.

1.8.3.3 Étude de Lynall et al. (2016)

La troisième étude a été réalisée par Lynall et al. (2016) et le système xPatch a aussi été utilisé. Dans cette étude, les 22 joueuses âgées de 19 ans ont été sélectionnées d'une équipe de niveau universitaire évoluant en première division. Le but de cette étude était de quantifier la fréquence et les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueuses de soccer de niveau universitaire. Les auteurs ont choisi d'utiliser un seuil de 10g, car des études réalisées en laboratoire suggèrent que les courses et les sauts n'engendrent pas d'accélérations linéaires supérieures à 10g (Lynall et al., 2016). Le nombre d'activations du xPatch lors des entraînements et le nombre d'activations lors des matchs de compétition ont été analysés en fonction du temps de jeu par joueuse. Les matchs de compétition ont aussi été évalués par 90 minutes de jeu soit le temps total d'un match de compétition. Pour cette étude, l'acquisition des données a été réalisée lors de 39

entraînements et lors de 18 matchs de compétition. Pour les 57 séances, un total de 2 899 impacts a été enregistré dont 1 564 lors des entraînements et 1 335 lors des matchs de compétition. Le nombre moyen d'activations du xPatch regroupant toutes les joueuses pour les entraînements était de 40,1 et de 74,2 pour les matchs de compétition. Les auteurs ont déterminé que les joueuses subissaient en moyenne, lors des matchs de compétition, 7,2 impacts par 90 minutes de jeu.

Les joueuses qui ont généré le plus grand nombre d'activations sont celles qui avaient le rôle de défenseure avec 526 activations en comparaison avec le rôle de milieu de terrain avec 513 activations et d'attaquante avec 295 activations. Les joueuses à la position ailier ont aussi généré plus d'activations en comparaison à celles à la position centre avec 754 activations contre 581 activations. Le nombre d'activations était plus important lors de la deuxième période de jeu avec 690 activations en comparaison à la première période avec 645 activations. Lors de la première période de jeu, les amplitudes des accélérations linéaires de la tête des joueuses étaient plus élevées que les amplitudes lors de la deuxième période de jeu (Lynall et al., 2016).

Pour les amplitudes des accélérations de la tête, Lynall et al. (2016) ont choisi les intervalles des accélérations linéaires suivants : 10 à 19,9g, 20 à 29,9g, 30 à 39,9g et supérieure à 40g. Pour les accélérations angulaires les intervalles étaient les suivants : inférieure à 2 499 rad/s², 2 500 à 7 499 rad/s², 7 500 à 12 499 rad/s² et supérieure à 12 500 rad/s².

Pour les entraînements, les accélérations linéaires de la tête des joueuses mesurées ont varié de 10g à 125,3g et de 359,78 rad/s² à 16 555,7 rad/s² pour les accélérations angulaires (Lynall et al., 2016). Pour les matchs de compétition, les accélérations linéaires qui ont été mesurées variaient de 10g à 66,1g et les accélérations angulaires de 318,0 rad/s² à 15 667,5 rad/s² (Lynall et al., 2016). Pour les matchs de compétition, 89,7 % de toutes les activations du xPatch étaient de 10 à 19,9g pour les accélérations linéaires de la tête. Pour les accélérations angulaires de la tête, 58,4 % de toutes les activations étaient inférieures à 2 499 rad/s². Les auteurs ont identifié une différence significative entre les amplitudes des

accélérations linéaires et des accélérations angulaires lors des entraînements et des matchs de compétition.

Selon les seuils de risque de TCCL proposés par Zhang, Yang et King (2004), les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête qui ont été mesurée lors des entraînements dépassaient le risque de 80 % de subir un TCCL. Lors des matchs de compétition, les accélérations linéaires obtenues étaient associées à un risque de 25 % et les accélérations angulaires dépassaient 80 % de risque de subir un TCCL. Aucun TCCL n'a été diagnostiqué lors de cette étude (Lynall et al., 2016).

Le but de l'étude de Lynall et al. (2016) était de quantifier la fréquence ainsi que les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueuses de soccer de niveau universitaire. Cependant, le type de techniques de tête et le type d'impacts involontaires de même que l'influence du rôle et de la position des joueuses sur le terrain, le résultat final du match de compétition, de la température de l'air ambiant, du type de terrain, des propriétés physiques du ballon et des paramètres anthropométriques du segment tête-cou des joueuses n'ont pas été analysés dans cette étude.

1.9 Résumé

Le TCCL est engendré par un impact direct ou indirect (impulsion) au niveau du crâne et cause l'altération temporaire des fonctions du cerveau (Marieb et al., 2010). Un joueur ou une joueuse qui a subi un ou plusieurs TCCL s'expose à des conséquences importantes à court et long terme, telles que des troubles de mémoire (Iverson et al., 2004), des anomalies électrophysiologiques (Theriault et al., 2009), des troubles hormonaux (Acerini et al., 2006) et même des maladies neurodégénératives (Petruglia, Bailes et Day, 2015).

L'accélération de la tête a été identifiée comme un des mécanismes les plus importants pour les TCCL (Gennarelli, Adams et Graham, 1981). Par exemple, l'accélération angulaire engendre des blessures diffuses au cerveau, car les substances composant le cerveau ne

possèdent pas les mêmes densités, ce qui cause des déplacements différentiels entre ces substances. Ces déplacements engendrent des micro-déchirures des axones et des micro-blessures répandues à travers le cerveau (Ommaya, Goldsmith et Thibault, 2002).

Spécifiquement au soccer, l'accélération de la tête est générée par des techniques de tête et des impacts involontaires comme des contacts entre joueurs et entre joueuses ou des chutes au sol. Lors de la pratique du soccer, les amplitudes des accélérations de la tête sont influencées par plusieurs facteurs dont ceux directement reliés aux joueurs et aux joueuses telles que l'âge et le genre (Petruglia, Bailes et Day, 2015), l'état physique (Reilly, 1997) et psychologique (Chamard et al., 2013) ainsi que les paramètres anthropométriques du segment tête-cou (Tierney et al., 2005). Il existe d'autres facteurs d'influence qui ne sont pas reliés aux joueurs et aux joueuses tels que la température de l'air ambiant (Wiart et al., 2011), les paramètres physiques du ballon (FIFA, 2016), le type de terrain (Turfgrass Resource Center, 2006) ainsi que le niveau de compétition, qui augmente selon la ligue dans laquelle participe un joueur ou une joueuse (Rahnama, Reilly et Lees, 2002) et qui augmente aussi lors d'un match de compétition comparativement à un entraînement (Nilsson et al., 2013).

Plusieurs études statistiques (Giannotti et al., 2010), en laboratoire (Shewchenko et al., 2005b) et numérique (Chatelin et al., 2011) ont été réalisées en lien avec le TCCL lors de la pratique du soccer. Les études en temps de jeu réel consistent à la prochaine étape et jusqu'à présent trois études ont été réalisées (Hanlon et Bir, 2010; Lynall et al., 2016; McCuen et al., 2015). Ces études ont analysé différents paramètres tels que la fréquence et les amplitudes des accélérations subies à la tête de joueuses lors d'entraînements et lors de matchs de compétition. Toutefois, plusieurs facteurs n'ont toujours pas été étudiés comme l'influence de la température de l'air ambiant, du type de terrain, des propriétés physiques du ballon, des différentes ligues de compétition et des paramètres anthropométriques du segment tête-cou des joueuses. Finalement, les études actuelles incluent seulement des joueuses, aucun joueur n'a participé à ces études.

CHAPITRE 2

PROBLÉMATIQUE DU PROJET DE RECHERCHE

Ce chapitre présente d'abord la problématique et les hypothèses de ce projet de recherche. Il présente ensuite les objectifs et les bénéfices du projet de recherche.

À noter que le terme participant est utilisé pour regrouper les joueurs et les joueuses de soccer qui ont participé à ce projet de recherche.

2.1 Problématique

La revue de la littérature a permis de poser les constats suivants :

- l'accélération linéaire et l'accélération angulaire de la tête sont les mécanismes lésionnels les plus importants concernant les blessures à la tête (Gennarelli, Adams et Graham, 1981; NHTSA, 1983);
- au soccer, les accélérations de la tête sont causées par des techniques de tête et des impacts involontaires;
- il existe toutefois peu de données sur la cinématique de la tête lorsqu'une technique de tête ou un impact involontaire se produit lors d'un entraînement ou lors d'un match de compétition;
- ce manque de données limite la compréhension des mécanismes lésionnels et l'identification du risque de TCCL spécifiquement au soccer;
- à ce jour, le risque de TCCL est évalué en confrontant les données cinématiques de la tête de joueurs et de joueuses de soccer aux valeurs cinématiques de la tête identifiée à risque lors de la pratique du football. Cependant, la correspondance entre les valeurs cinématiques identifiées à risque et les mécanismes de TCCL au soccer n'a pas été démontrée à ce jour (Rowson et al., 2012; Zhang, Yang et King, 2004);

- les acquisitions en temps de jeu réel des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête de joueurs et de joueuses de soccer lors de techniques de tête et lors d'impacts involontaires permettront d'améliorer la compréhension des mécanismes lésionnels spécifiques au soccer et, par le fait même, du risque de TCCL lors de la pratique du soccer.

2.2 Hypothèses

L'analyse des informations présentées dans la revue de la littérature a permis de dégager deux hypothèses (H). L'étude réalisée par Tierney et al. (2005) et l'étude réalisée par Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008) ont démontré que le cou des hommes et le cou des femmes comportaient des différences anthropométriques importantes qui se traduisaient par une instabilité du segment tête-cou chez les femmes. C'est pourquoi pour ce projet de recherche, il est attendu que les amplitudes des accélérations linéaires moyennes (H1-1) et des accélérations angulaires moyennes (H1-2) de la tête causées par les techniques de tête et par les impacts involontaires mesurées chez les joueuses de soccer soient significativement plus importantes que celles mesurées chez les joueurs lors des matchs de compétition de la saison d'été uniquement.

Le facteur de compétition entre les joueurs et entre les joueuses de soccer influence la fréquence des TCCL lors de la pratique du soccer. Ce constat a été démontré par l'étude de Gessel et al. (2007) et l'étude de Nilsson et al. (2013), dans lesquelles le taux de TCCL était plus élevé lors des matchs de compétition que lors des entraînements. C'est pourquoi pour ce projet de recherche, il est attendu que la fréquence des techniques de tête (H2-1) et des impacts involontaires (H2-2) dépassant les seuils de risque lors des matchs de compétition soit plus importante que la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires lors des entraînements.

2.3 Objectifs

L'objectif de ce projet de recherche était d'évaluer le risque de TCCL lors de la pratique du soccer. Les objectifs spécifiques (OS) étaient les suivants :

OS1 : Mesurer les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête de participants lors d'entraînements et lors de matchs de compétition de soccer;

OS2 : Déterminer le risque de TCCL associé à l'amplitude des accélérations linéaires et des accélérations angulaires mesurées;

OS3 : Identifier le type de techniques de tête, le type d'impacts involontaires et les mouvements de la tête susceptibles d'engendrer un risque de TCCL;

OS4 : Étudier la relation entre différents facteurs pouvant influencer la fréquence et l'amplitude des accélérations de la tête tels que la période de jeu, le rôle et la position du participant sur le terrain, le résultat final du match de compétition, les paramètres anthropométriques du segment tête-cou, l'indice de masse corporelle (IMC) des participants, la température de l'air ambiant, les paramètres physiques des ballons de soccer et le type de terrain.

2.4 Bénéfices attendus du projet de recherche

Ce projet de recherche permettra de quantifier la fréquence des accélérations et l'amplitude des accélérations de la tête causée par des techniques de tête et des impacts involontaires chez des joueurs et des joueuses de soccer âgés de plus de 18 ans. Le risque de subir un TCCL sera évalué selon des seuils de risque pour les accélérations linéaires et les accélérations angulaires subies à la tête. Ce projet de recherche permettra aussi d'évaluer les paramètres d'influence tels que la période de jeu, le rôle et la position du participant sur le terrain, les paramètres anthropométriques du segment tête-cou, l'IMC des participants, la température de l'air ambiant et les paramètres physiques des ballons de soccer. Il s'agit d'un avancement important dans les connaissances des TCCL lors de la pratique de sports considérés sans contact tels que le soccer. À la suite de cette étude, des recommandations seront aussi proposées à la Fédération de soccer du Québec de même qu'aux dirigeants et aux

entraîneurs des ligues de soccer dans le but d'informer et de conscientiser les joueurs et les joueuses de soccer sur les situations à risque de TCCL. Des approches minimisant ces risques aux répercussions graves sur le cerveau seront aussi proposées.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente les méthodologies expérimentales et d'analyses statistiques utilisées dans le cadre de ce projet de recherche.

3.1 Méthodologie expérimentale

Cette section présente les participants qui ont été ciblés pour ce projet de recherche et les différentes informations recueillies auprès de ces participants. Cette section présente aussi les instruments de mesure utilisés lors des séances d'acquisition. Finalement, le déroulement des séances d'acquisition est détaillé.

Le projet de recherche a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche de l'École de technologie supérieure (ÉTS) (H20160603).

3.1.1 Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion de ce projet de recherche étaient les suivants :

- faire partie d'une équipe de soccer;
- être âgé de plus de 18 ans.

Le projet de recherche comportait aussi des critères d'exclusion tels que :

- être blessé au dos ou au cou;
- avoir subi un TCCL et ne pas présenter un avis médical (billet) indiquant la possibilité d'un retour au jeu;
- avoir joué un minimum de deux saisons à titre de joueur actif et non comme remplaçant ou à titre de joueuse active et non comme remplaçante.

3.1.2 Informations sur les participants

Une rencontre préliminaire a été organisée pour expliquer le projet de recherche, le protocole expérimental et le bandeau instrumenté aux participants. Le formulaire d'information et consentement a aussi été remis aux participants, qui ont été invités à le lire, à poser des questions au besoin, et par la suite, à le remplir.

Lors de cette rencontre, plusieurs fiches d'informations ont été complétées et sont présentées à l'ANNEXE I. Il s'agit des fiches regroupant les informations concernant l'admissibilité du participant (voir Tableau-A I-1), les informations du participant (voir Tableau-A I-2), les données anthropométriques du segment tête-cou (voir Tableau-A I-3), le choix du bandeau (Triax Technologies inc., Norwalk, CT) et l'attribution de l'instrument de mesure SIM-G (Triax Technologies inc., Norwalk, CT) au participant (voir Tableau-A I-4).

La fiche d'admissibilité du participant a permis de déterminer si le participant répondait aux critères d'inclusion sans toutefois répondre aux critères d'exclusion. La fiche d'information sur le participant regroupait les caractéristiques du participant telles que l'âge, le poids et la taille. Le poids des participants a été mesuré avec un pèse-personne mécanique (Balance mécanique, Starfrit balance). La taille des participants a été mesurée à l'aide d'un mètre à ruban rigide (Power lock 16 pi, Stanley). Les techniques de mesure anthropométrique du segment tête-cou qui ont été utilisées ont été établies par Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008). Comme pour Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008), les données anthropométriques mesurées dans le cadre de ce projet de recherche étaient la circonférence, la largeur, la hauteur et la profondeur du cou, tel que présenté à la Figure 3.1. Ces mesures anthropométriques ont été réalisées avec un mètre à ruban souple (Tailorform). La fiche d'attribution du SIM-G permettait d'indiquer la taille du bandeau choisi par le participant (petit 527,05 mm; moyen entre 527,05 et 552,45 mm; grand plus de 552,45 mm) et le numéro de série du SIM-G attribué de manière aléatoire. Pour chaque séance d'acquisition, les participants ont utilisé le même SIM-G et le même bandeau. À la fin de la première rencontre, un identifiant a été assigné à chaque participant, et ce, de manière aléatoire. Enfin,

un profil pour chaque équipe et un profil pour chaque participant ont été créés sur la plate-forme Cloud dashboard (Triax Technologies inc., Norwalk, CT).

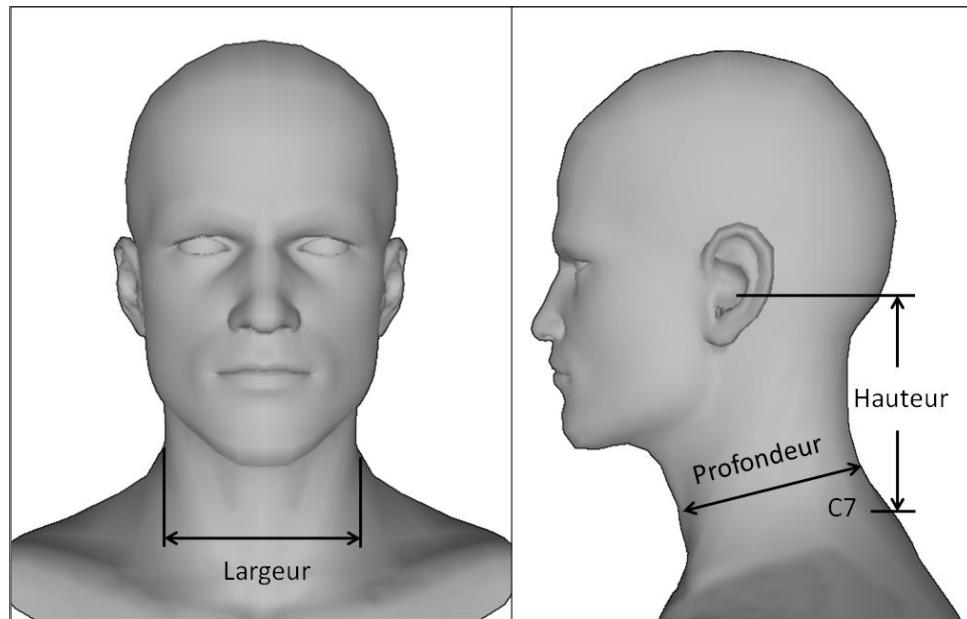


Figure 3.1 Mesures anthropométriques du segment tête-cou
Reproduite et adaptée avec l'autorisation de Triax Technologies inc. (2016)

3.1.3 Résumé des caractéristiques des participants du projet de recherche

Un total de 24 participants, 8 joueurs et 16 joueuses de soccer, a participé à ce projet de recherche. L'équipe masculine évoluait dans la ligue provinciale AAA et dans la catégorie U18 qui inclut des joueurs âgés de 17 et 18 ans. Les caractéristiques des joueurs sont regroupées au Tableau 3.1. L'équipe féminine évoluait dans la ligue régionale A et dans la catégorie senior qui inclut des joueuses âgées de 18 ans et plus. Les caractéristiques des joueuses sont présentées au Tableau 3.2.

Tableau 3.1 Caractéristiques des joueurs de l'équipe masculine U18-AAA

Paramètres	Moyenne	Écart-type
Âge (années)	18,0	0,0
Poids (kg)	73,7	9,5
Taille (m)	1,73	0,10
Nombre d'années d'expérience (années)	12,4	1,6

Tableau 3.2 Caractéristiques des joueuses de l'équipe féminine senior-A

Paramètres	Moyenne	Écart-type
Âge (années)	24,1	1,4
Poids (kg)	63,5	7,8
Taille (m)	1,63	0,06
Nombre d'années d'expérience (années)	16,4	2,9

3.1.4 Matériel utilisé lors des séances d'acquisition

Le matériel utilisé lors des séances d'acquisition était composé de bandeaux instrumentés du système de mesure nommé SIM-G, d'un dispositif d'acquisition nommé SKYi, d'une caméra, d'un thermomètre, d'un manomètre, d'une balance numérique, d'un mètre ruban souple et des fiches d'informations. Cette sous-section présente les détails du matériel utilisé lors des séances d'acquisition.

3.1.4.1 SIM-G et SKYi

Le Smart Impact Monitor (SIM-G) de la compagnie Triax Technologies inc. (Norwalk, CT, États-Unis) a été utilisé lors des séances d'acquisition de ce projet de recherche. Le SIM-G est composé d'un gyroscope à trois axes et de deux accéléromètres à trois axes. Un accéléromètre à trois axes est utilisé pour les faibles accélérations et un second pour les grandes accélérations. Installé à l'intérieur d'un bandeau ceinturant la tête, le système a été validé par le Neurotrauma Impact Science Laboratory de l'Université d'Ottawa avec une tête de mannequin Hodgson-WSU de National Operating Committee on Standards for Athletic Equipment et un cou de mannequin Hybrid III (Anna Oeur, Karton et Blaine Hoshizaki, 2016; Karton, Anna Oeur et Blaine Hoshizaki, 2016). Un système de pendule simple a été utilisé pour générer les impacts à la tête du mannequin. La tête du mannequin était composée de neuf accéléromètres. Les accélérations mesurées au centre de gravité de la tête du mannequin ont ensuite été comparées aux accélérations mesurées par le SIM-G. Le coefficient de corrélation entre le bandeau instrumenté du SIM-G et la tête du mannequin était supérieur à 0,90 pour les accélérations linéaires et les accélérations angulaires (Karton, Anna Oeur et Blaine Hoshizaki, 2016). L'erreur quadratique moyenne normalisée maximale obtenue était de 11,5 % (Triax Technologies inc., 2014). Le SIM-G est présenté à la Figure 3.2 et ses caractéristiques physiques sont regroupées au Tableau 3.3. Un exemple de joueuse portant le bandeau instrumenté du SIM-G est présenté à la Figure 3.3 a) et à la Figure 3.3 b).



Figure 3.2 Instrument de mesure SIM-G
Tirée de Triax Technologies inc. (2016)

Tableau 3.3 Caractéristiques physiques du SIM-G
Tiré de Triax Technologies inc. (2014, p. 1)

Paramètres	Valeurs
Longueur (mm)	27
Hauteur (mm)	34
Profondeur (mm)	8
Masse (g)	11,5



Figure 3.3 a) Port du bandeau instrumenté en vue frontale
b) Port du bandeau instrumenté en vue latérale

Le SIM-G permet la mesure des accélérations linéaires, des accélérations angulaires et des vitesses angulaires du centre de gravité de la tête. Il mesure également le mouvement et l'angle de la tête des participants au moment de l'acquisition. Par la suite, ces mesures sont envoyées au dispositif d'acquisition nommé SKYi (Triax Technologies inc., Norwalk, CT) qui est présenté à la Figure 3.4. Le SKYi permet de compiler et de visualiser le nombre d'impacts et les amplitudes des accélérations de la tête de chaque participant lors des séances d'acquisition.



Figure 3.4 SKYi (Triax Technologies inc., Norwalk, CT)

Le SIM-G est seulement activé lorsque l'accélération linéaire de la tête est supérieure à 10g. Lorsque l'enregistrement est mis en marche, le SIM-G enregistre les informations 10 ms avant l'activation du SIM-G à 10g et les 52 ms après l'activation du SIM-G à 10g. La fréquence d'acquisition du SIM-G est de 1000 Hz. Les données sont communiquées au SKYi lorsque le participant se trouve dans un rayon de 137 m. Si le participant se trouve à l'extérieur de ce rayon, le SIM-G peut enregistrer jusqu'à 140 impacts. Lorsque le participant est de nouveau à une distance de 137 m, les données sont automatiquement transférées au SKYi. Les paramètres du SKYi ont été configurés pour que le SKYi se connecte automatiquement à un réseau internet spécifique. Ainsi, lorsque le SKYi est mis en marche et qu'il est à proximité de ce réseau, les données sont automatiquement transférées sur la plate-forme Cloud dashboard.

3.1.4.2 Fiches d'informations et autres matériels

Durant les séances d'acquisition, plusieurs informations étaient consignées dans la fiche d'information sur la séance d'acquisition, dont une copie se trouve au Tableau-A II-1 à l'ANNEXE II. Les informations sur la séance d'acquisition étaient : le type de séance

(entraînement ou match de compétition), la température de l'air ambiant mesuré à l'aide d'un thermomètre à cadran (BIOS Weather), le type de terrain (naturel ou synthétique) ainsi que la date et l'heure de la séance d'acquisition. Chaque séance d'acquisition était filmée à l'aide d'un caméscope (HDR CX405, Sony) installé sur trépied (Manfrotto). L'utilisation d'un seul caméscope impliquait un déplacement manuel de la caméra dans le but de suivre le déplacement du ballon. Un exemple de montage de la caméra est présenté à la Figure 3.5 a) et à la Figure 3.5 b). Un exemple de l'emplacement du SKYi lors des séances d'acquisition est présenté à la Figure 3.6.

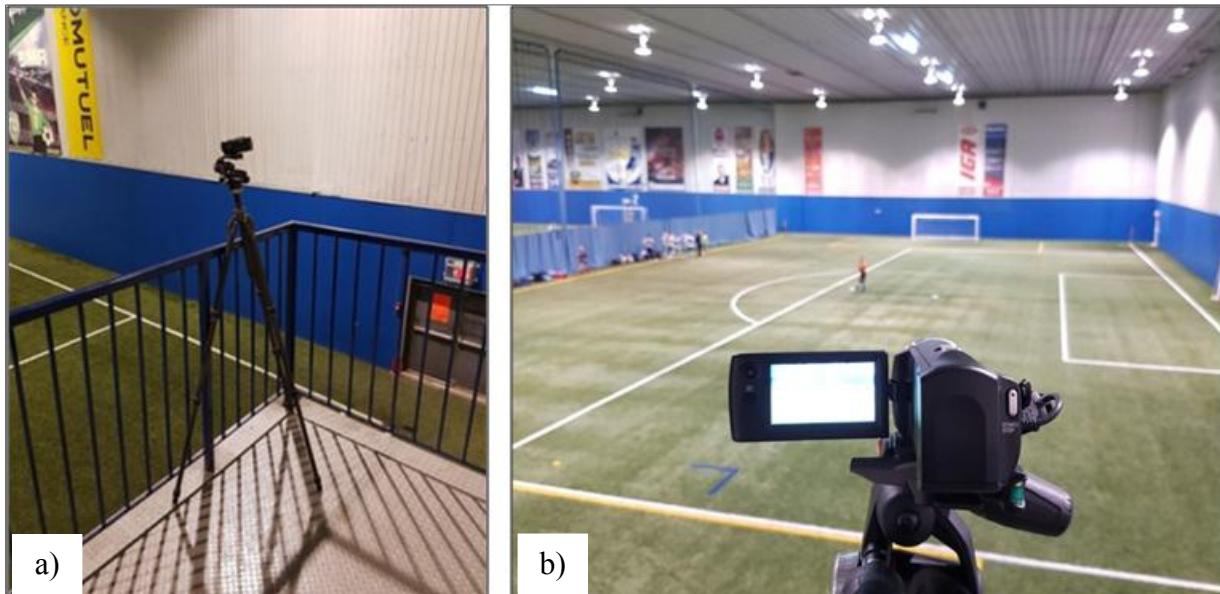


Figure 3.5 a) Montage caméra b) Vue sur le terrain de soccer

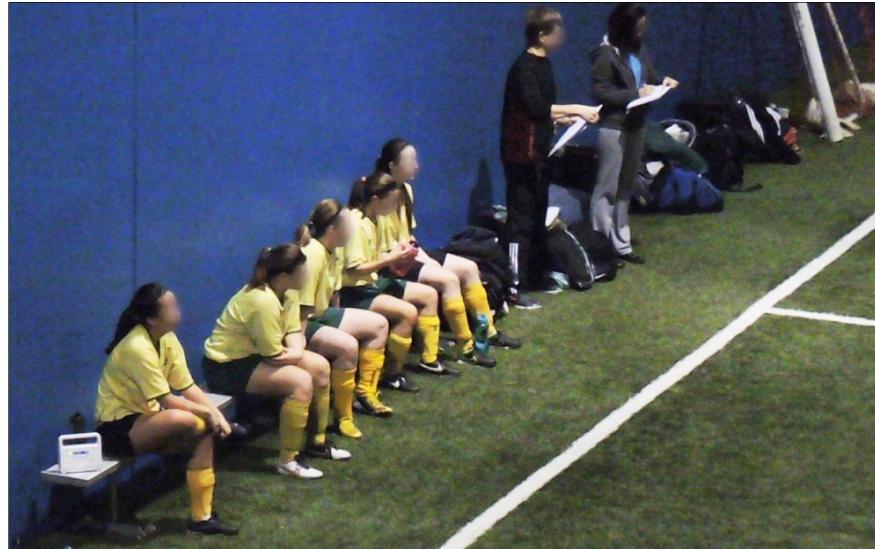


Figure 3.6 SKYi sur le banc des joueuses

Lors des matchs de compétition, la fiche d'information sur les ballons utilisés lors de la séance d'acquisition était aussi complétée, dont une copie se trouve au Tableau-A II-2 à l'ANNEXE II. Les informations consignées sur les ballons étaient : la pression mesurée à l'aide d'un manomètre à ballon (Performance Pressure gauge, Adidas), la masse mesurée avec une balance numérique de capacité minimale de 2 g (Cucina, Think Kitchen) et la circonférence mesurée à l'aide du mètre à ruban souple (Tailorform). Ces paramètres physiques des ballons correspondaient aux paramètres qui comportaient des limites imposées par la FIFA (FIFA, 2016). Les informations sur les ballons n'ont pas été consignées lors des entraînements, car le nombre de ballons utilisés était trop important pour identifier lequel serait responsable de l'activation du SIM-G.

3.1.5 Acquisitions des données

Cette sous-section présente le déroulement des acquisitions lors des entraînements et des matchs de compétition pour ce projet de recherche.

3.1.5.1 Entraînements de la saison d'été

Les acquisitions des accélérations de la tête lors des entraînements ont été réalisées seulement pour l'équipe masculine. Lors de chaque entraînement, les joueurs devaient effectuer un échauffement supervisé par les entraîneurs. Lors de cet échauffement, les SIM-G étaient mis en marche et insérés à l'intérieur des bandeaux. Les bandeaux instrumentés étaient ensuite distribués aux joueurs respectifs. Les joueurs avaient pour consigne de jouer comme à l'habitude. L'heure et le temps des pauses d'eau étaient notés afin d'éliminer les données expérimentales obtenues hors entraînement. La durée d'un entraînement variait entre 60 et 75 minutes.

3.1.5.2 Matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

À chaque match de compétition, les joueurs et les joueuses devaient effectuer un échauffement supervisé par les entraîneurs. Lors de cet échauffement, les SIM-G étaient mis en marche et insérés à l'intérieur des bandeaux. Les bandeaux instrumentés étaient ensuite distribués aux joueurs et joueuses respectifs. Les joueurs et les joueuses avaient pour consigne de jouer comme à l'habitude. À chaque début et fin de période de jeu, l'heure était notée dans le but d'éliminer les données expérimentales obtenues hors match de compétition. Pour les joueurs, la ligue provinciale AAA impose une limite de trois changements de joueur en temps de jeu réglementaire lors d'un match de compétition et un nombre illimité de changements lors de la mi-temps. De ce fait, les changements ont été notés afin d'identifier le temps de jeu de chaque joueur. Pour les joueuses, la ligue régionale A n'impose aucune limite de changement. Par conséquent, les entraîneurs ont noté tous les changements des joueuses afin d'identifier le temps de jeu de chaque joueuse.

Lors de la saison d'été et lors des matchs de compétition, les participants ont joué sur des terrains de soccer normalisés pour le jeu 11 contre 11. Les matchs de compétition étaient composés de 2 périodes de jeu de 45 minutes. Lors de la saison d'automne des joueuses, les matchs de compétition se sont déroulés sur les terrains de soccer normalisés pour le jeu 7 contre 7. Ces matchs de compétition étaient composés de 2 périodes de jeu de 35 minutes. La

Figure 3.7 présente le terrain normalisé pour le jeu 11 contre 11 et pour le jeu 7 contre 7. Les normes pour les dimensions du terrain pour le jeu 11 contre 11 sont de 65 m à 68 m pour la largeur et de 100 m à 105 m pour la longueur (Gionet, 2005). Pour le jeu 7 contre 7, les normes sont de 25 m à 45 m pour la largeur et de 45 m à 65 m pour la longueur (Gionet, 2005). La surface du terrain pour le jeu 7 contre 7 est environ 3 fois plus petite que la surface du terrain pour le jeu 11 contre 11. De plus, le rapport entre l'espace disponible sur le terrain pour chaque joueur et chaque joueuse, voir équation (3.1), du jeu 11 contre 11 et du jeu 7 contre 7 est environ de 1,5.

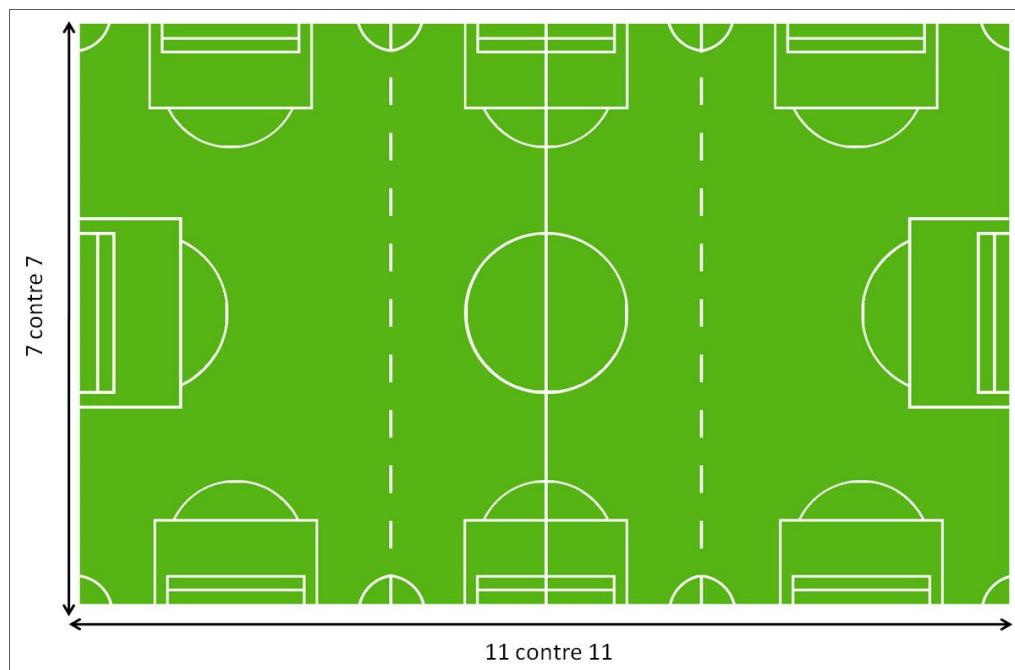


Figure 3.7 Terrain de soccer pour le jeu 11 contre 11 et le jeu 7 contre 7

$$\text{Espace par joueur [m}^2/\text{joueur}] = \frac{\text{Surface terrain [m}^2]}{\text{Nombre de joueurs [joueurs]}} \quad (3.1)$$

L'état des ballons et le respect des limites des paramètres physiques des ballons devaient être vérifiés par les arbitres lors des matchs de compétition. Les arbitres devaient aussi imposer une pause d'eau à la moitié de la période de jeu lorsque la température de l'air ambiant était élevée (Fédération de soccer du Québec, 2016; FIFA, 2016).

3.1.6 Évaluation du risque de TCCL lors des séances d'acquisition

Au cours des entraînements et des matchs de compétition, lorsque l'amplitude des accélérations de la tête dépassait les seuils de 50 % de risque de subir un TCCL selon le critère de Zhang, Yang et King (2004), tant pour les accélérations linéaires, soit 82g, que pour les accélérations angulaires, soit 5 900 rad/s², le joueur ou la joueuse ainsi que les entraîneurs étaient informés au moment opportun. Lorsque le seuil de 50 % de risque de subir un TCCL du critère de Rowson et al. (2012) était dépassé, 6 383 rad/s² et 28,3 rad/s, le joueur ou la joueuse et les entraîneurs étaient aussi informés au moment opportun. L'intervention ne devait pas perturber le déroulement des entraînements et des matchs de compétition. La ligue provinciale AAA impose la présence d'un physiothérapeute lors des matchs de compétition. Ainsi, lorsque les amplitudes des accélérations de la tête dépassaient les seuils de risque de 50 %, les joueurs étaient invités à consulter le physiothérapeute.

À la fin de chaque séance d'acquisition, les SIM-G étaient éteints à distance à l'aide du SKYi. Par la suite, les joueurs et les joueuses remettaient les bandeaux instrumentés afin que ces derniers soient lavés et que chaque SIM-G soit recharge à l'aide de la borne de recharge.

3.2 Méthodologie de l'analyse statistique

Cette section présente les méthodes d'analyse post-acquisition et les méthodes statistiques employées pour ce projet de recherche.

3.2.1 Filtrage préliminaire des données

À la suite de chaque acquisition, un nettoyage préliminaire des données était réalisé sur la plate-forme Cloud dashboard. Pour les entraînements, ce nettoyage consistait à utiliser la fonction Non-Impact Transients (NITs) pour les activations du bandeau instrumenté des joueurs avant ou après les entraînements et lors des pauses d'eau. La fonction NITs permettait de retirer les activations du bandeau instrumenté de la plate-forme Cloud dashboard sans toutefois les effacer complètement. Ils étaient donc toujours accessibles au

besoin. Pour les matchs de compétition, les activations du bandeau instrumenté éliminé étaient celles survenues avant et après une période de jeu et pendant la période de repos des participants sur le banc.

3.2.2 Visionnement des séances d'acquisition et filtrage final des données

Les vidéos étaient ensuite visionnées et les activations du bandeau instrumenté étaient répertoriées dans un tableau d'analyse, dont une copie se trouve au Tableau-A II-3 à l'ANNEXE II. Ce tableau regroupait l'identifiant du participant et son temps de jeu, de même que le nombre de techniques de tête et d'impacts involontaires de la séance d'acquisition. Pour chaque activation du bandeau instrumenté, les informations suivantes étaient aussi notées : l'accélération linéaire, l'accélération angulaire, le mouvement de la tête, le type de techniques de tête ou le type d'impacts involontaires et la période de jeu. Lorsque l'activation du bandeau instrumenté n'était pas justifiée, par exemple lorsque le bandeau était enlevé et manipulé par les participants, les activations du bandeau instrumenté étaient aussi identifiées comme NITs sur la plate-forme Cloud dashboard.

La plate-forme Cloud dashboard générait un fichier Excel résumé de toutes les activations des bandeaux instrumentés selon le participant. Les informations retrouvées dans les fichiers résumés Excel étaient : l'accélération linéaire maximale, l'accélération angulaire maximale, la vitesse angulaire maximale, le mouvement de la tête ainsi que l'angle azimut et l'élévation. L'angle azimut correspond à l'angle de $\pm 180^\circ$ dans le plan horizontal où l'oreille droite est identifiée comme l'angle positif et l'oreille gauche comme l'angle négatif. L'élévation correspond à l'angle de $\pm 90^\circ$, dans le plan horizontal, où le dessus de la tête est identifié comme l'angle positif et le menton comme l'angle négatif.

La plate-forme Cloud dashboard générait aussi un fichier Excel par activation du bandeau instrumenté qui comportait le détail pour les 10 ms avant l'activation du SIM-G à 10g et les 52 ms après l'activation du SIM-G à 10g. Le fichier Excel des activations des bandeaux instrumentés individuels générait l'amplitude de l'accélération linéaire, de l'accélération

angulaire et de la vitesse angulaire à chaque milliseconde. Les fichiers Excel ainsi que les tableaux d'analyses ont été enregistrés et archivés selon les règles de conformité du comité d'éthique de l'ÉTS.

3.2.3 Analyse post-acquisition

Afin de répondre à l'objectif OS1, toutes les données des accélérations linéaires et des accélérations angulaires ont été regroupées sous le terme d'activation des bandeaux instrumentés. Pour répondre à l'objectif OS2, les activations des bandeaux instrumentés ont été confrontées aux seuils de risque des critères de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012). À noter que lors d'une activation du bandeau instrumenté, l'accélération maximale a été confrontée aux deux critères. Mais, le critère de Zhang, Yang et King (2004) a été validé pour un laps de temps spécifique (entre 10 et 30 ms), alors l'utilisation de la valeur d'accélération maximale uniquement suppose que l'analyse du risque de TCCL a été plus conservatrice que l'analyse du risque établi par Zhang, Yang et King (2004). L'analyse du risque selon le critère de Rowson et al. (2012) n'a pas été influencé par l'utilisation de la valeur maximale d'accélération, car le temps de tolérance a été considéré par la vitesse angulaire. Par la suite, les activations des bandeaux instrumentés ont été catégorisées en techniques de tête et en impacts involontaires pour répondre à l'objectif OS3.

Pour répondre à l'hypothèse H1, les amplitudes des accélérations moyennes de la tête des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été ont été comparées aux amplitudes des accélérations moyennes de la tête des joueurs lors des matchs de compétition de la saison d'été, et ce, pour les techniques de tête et pour les impacts involontaires. Toutefois, l'analyse comparative détaillée entre les joueurs et les joueuses n'a pas été réalisée, car les différences entre les deux populations telles que l'âge (18 ans contre 24 ans) et le niveau de compétition (ligue régionale A contre ligue provinciale AAA) étaient considérables. Pour répondre à l'hypothèse H2, le nombre de techniques de tête et le nombre d'impacts involontaires dépassant les seuils de risque lors des entraînements ont été comparés au nombre des matchs de compétition.

L'analyse des résultats a été réalisée avec MATLAB 2015b. En résumé, les paramètres qui ont été utilisés pour l'analyse des résultats étaient les suivants :

- temps total des acquisitions;
- fréquence totale des activations des bandeaux instrumentés :
 - lors des entraînements pour les joueurs;
 - lors des matchs de compétition de la saison d'été pour les joueurs et les joueuses;
 - lors des matchs de compétition de la saison d'automne pour les joueuses;
 - selon la période de jeu (première ou deuxième demie) pour les joueurs et les joueuses;
 - en fonction de chaque joueur et de chaque joueuse;
 - en fonction du rôle (attaquant, milieu de terrain et défenseur) des joueurs et des joueuses sur le terrain;
 - en fonction de la position (centre et ailier) des joueurs et des joueuses sur le terrain;
 - par heure de jeu, pour chaque joueur et chaque joueuse;
 - dépassant les seuils de risque des accélérations de la tête pour les joueurs et les joueuses;
- les valeurs minimales, maximales et moyennes des :
 - accélérations linéaires de la tête;
 - accélérations angulaires de la tête;
 - vitesses angulaires de la tête;
- fréquence des mouvements de la tête;
- fréquence des types d'impacts involontaires;
- fréquence des types de techniques de tête.

Pour répondre à l'OS4, les mesures anthropométriques du segment tête-cou des participants ont été normalisées en fonction de la taille de chaque participant. L'équation (3.2) représente le calcul du rapport de la longueur du cou. Les rapports des mesures anthropométriques selon

la taille des participants ont été analysés avec les participants du même genre afin d'évaluer un lien possible entre les mesures anthropométriques du segment tête-cou et l'amplitude des accélérations de la tête. L'IMC a été calculé, voir équation (3.3) (Santé Canada, 2012), pour chaque participant et a été analysé dans le but d'évaluer le lien possible entre l'IMC et l'amplitude des accélérations de la tête. L'IMC a été calculé afin d'obtenir une normalisation du paramètre du poids des participants, car l'IMC peut avoir une influence sur les paramètres anthropométriques du segment tête-cou des participants, tel que mentionné par Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008). Les rapports des mesures anthropométriques et les IMC ont aussi été analysés entre les joueurs et les joueuses afin d'identifier les paramètres ayant une différence significative entre les deux populations.

$$\text{Rapport de la longueur du cou } [-] = \frac{\text{Longeur cou } [m]}{\text{Taille } [m]} \quad (3.2)$$

$$\text{IMC } [kg/m^2] = \frac{\text{Poids } [kg]}{\text{Taille}^2 [m^2]} \quad (3.3)$$

3.2.4 Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée avec Statgraphics. Les moyennes et les écarts-types ont été calculés pour les paramètres suivants :

- paramètres des participants : âge, poids, taille, nombre d'années d'expérience;
- paramètres anthropométriques du segment tête-cou normalisé selon la taille du participant : circonférence, largeur, hauteur et profondeur.

3.2.4.1 Démarche de l'analyse statistique

Les données reliées aux joueurs et aux joueuses, telles que les rapports des mesures anthropométriques et les IMC, étaient de type indépendant. Par conséquent, pour effectuer la comparaison entre les données reliées aux joueurs et les données reliées aux joueuses, la

normalité des données a d'abord été vérifiée. Le test de Student a ensuite été réalisé avec un risque de première espèce de 5 %.

Les données obtenues lors des séances d'acquisition de ce projet de recherche, telles que les accélérations de la tête et les vitesses angulaires de la tête, étaient de type apparié. Pour tous les tests statistiques effectués, le risque de première espèce était de 5 %. La démarche suivie pour l'analyse statistique des données appariées était la suivante :

- 1) vérification de la normalité des données;
- 2) analyse statistique entre deux échantillons :
 - i. deux échantillons suivant la loi normale :
 - test de Student apparié;
 - ii. un ou les deux échantillons ne suivant pas la loi normale :
 - test des rangs signés de Wilcoxon;
- 3) analyse statistique de plus de deux échantillons :
 - test de Friedman.

Les comparaisons ont été réalisées entre :

- la fréquence totale des activations des bandeaux instrumentés lors :
 - des entraînements et des matchs de compétition des joueurs;
 - des matchs de compétition de la saison d'été des joueuses;
 - des matchs de compétition de la saison d'automne des joueuses;
- les accélérations (linéaires et angulaires) moyennes de la tête des participants lors des techniques de tête et des impacts involontaires;
- les vitesses moyennes de la tête des participants lors des techniques de tête et des impacts involontaires;
- la fréquence totale des activations des bandeaux instrumentés en fonction du temps de jeu lors :
 - des entraînements et des matchs de compétition des joueurs;

- des matchs de compétition de la saison d'été des joueuses;
- des matchs de compétition de la saison d'automne des joueuses;
- la fréquence totale des activations des bandeaux instrumentés en fonction de la période de jeu lors des matchs de compétition :
 - des joueurs;
 - de la saison d'été des joueuses;
 - de la saison d'automne des joueuses;
- la fréquence totale des activations des bandeaux instrumentés en fonction du rôle et de la position des joueurs lors des matchs de compétition :
 - des joueurs;
 - de la saison d'été des joueuses;
 - de la saison d'automne des joueuses;
- les paramètres anthropométriques normalisés du cou et l'IMC des joueurs et des joueuses;
- les paramètres physiques des ballons et les températures de l'air ambiant mesurés lors des matchs de compétition des joueurs et des joueuses.

3.2.4.2 Régressions

Concernant l'OS4, des régressions simples et des régressions multiples de type pas-à-pas descendant ont été réalisées pour identifier une relation entre les différents paramètres mesurés au cours du projet de recherche et la fréquence ou l'amplitude des accélérations de la tête. Pour l'analyse des régressions, le facteur des paramètres et la valeur-p ont été utilisés afin d'identifier les paramètres ayant la plus grande influence.

Pour la fréquence des accélérations de la tête des participants :

- pour les entraînements des joueurs, la fréquence des techniques de tête et la fréquence des impacts involontaires ont été étudiées. Une régression simple a été

réalisée avec le paramètre de la température de l'air ambiant pour chacune des fréquences;

- pour les matchs de compétition des joueurs et des joueuses, la fréquence des techniques de tête et le nombre de techniques de tête ayant dépassé les seuils de risque ont été étudiés. Les paramètres utilisés pour ces régressions multiples étaient :
 - le rôle des joueurs et des joueuses;
 - la position des joueurs et des joueuses;
 - la température de l'air ambiant;
 - les paramètres du ballon : circonférence, masse, pression;
 - le résultat final du match de compétition.
- pour les matchs de compétition des joueurs et des joueuses, la fréquence des impacts involontaires a aussi été étudiée. Les paramètres utilisés pour ces régressions multiples étaient :
 - le rôle des joueurs et des joueuses;
 - la position des joueurs et des joueuses;
 - la température de l'air ambiant;
 - le résultat final du match de compétition.

Pour les amplitudes des accélérations de la tête des participants :

- pour les entraînements des joueurs et pour les techniques de tête seulement, les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations de la tête angulaires ont été étudiées de même que les amplitudes des accélérations dépassant les seuils de risque.

Les paramètres utilisés pour ces régressions multiples étaient :

- le mouvement de la tête;
- les paramètres anthropométriques du segment tête-cou normalisé : circonférence, largeur, hauteur et profondeur;
- l'IMC des participants.

- pour les matchs de compétition des joueurs et des joueuses, et pour les techniques de tête seulement, les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête ont été étudiées de même que les amplitudes des accélérations dépassant les seuils de risque. Les paramètres utilisés pour ces régressions multiples étaient :
 - le mouvement de la tête;
 - les paramètres anthropométriques du segment tête-cou normalisé : circonférence, largeur, hauteur et profondeur;
 - l'IMC des participants;
 - les paramètres du ballon : circonférence, masse, pression.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

Ce chapitre présente d'abord les résultats des séances d'acquisition. Il présente ensuite les risques de TCCL qui ont été observés lors des séances d'acquisition et qui ont été évalués selon les critères de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012). L'évaluation des facteurs d'influence est aussi présentée.

À noter que le terme fréquence indique le nombre d'occurrences observé pour la totalité des séances d'acquisition réalisées au cours de ce projet de recherche.

4.1 Nombres et durée des séances d'acquisition

Un total de 8 joueurs et de 16 joueuses de soccer âgés de plus de 18 ans ont participé à ce projet de recherche au cours de la saison d'été et de la saison d'automne 2016. Lors de la saison d'été, les joueurs ont participé à 14 séances d'acquisition, dont 7 entraînements et 7 matchs de compétition. Les joueuses ont participé à neuf matchs de compétition lors de la saison d'été. Lors de la saison d'automne, des 16 joueuses ayant participé au projet de recherche de la saison d'été, 13 ont participé à 8 matchs de compétition.

Au total, 42,7 heures d'acquisition ont été réalisées, dont 19,9 heures chez les joueurs et 22,8 heures chez les joueuses. Le nombre d'heures d'acquisition par genre et par type de séance est détaillé au Tableau 4.1.

Tableau 4.1 Nombre d'heures d'acquisition selon le genre et le type de séance

Joueurs		Joueuses	
Entraînements saison d'été	Matchs de compétition saison d'été	Matchs de compétition saison d'été	Matchs de compétition saison d'automne
7,9 heures	12,0 heures	13,5 heures	9,3 heures
Total 19,9 heures		Total 22,8 heures	

4.1.1 Accélérations et vitesses de la tête mesurées chez les joueurs

Chez les joueurs, 303 activations des bandeaux instrumentés ont été enregistrées, dont 64 lors des entraînements et 239 lors des matchs de compétition, tel que présenté au Tableau 4.2. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés a été significativement plus élevée lors des matchs de compétition ($p = 0,02$) que lors des entraînements. Les techniques de tête ont été responsables de 104 des 303 (34,3 %) activations des bandeaux instrumentés contre 199 (65,7 %) pour les impacts involontaires, tel que présenté au Tableau 4.2. La fréquence des impacts involontaires a été significativement plus importante ($p = 0,002$) que la fréquence des techniques de tête.

Tableau 4.2 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le type de séance d'acquisition chez les joueurs

Séance d'acquisition	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
Entraînements	12	52	64
Matchs de compétition	92	147	239
Total	104	199	303

Le nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés pour un joueur a été de 14 lors d'une même séance d'entraînement et de 22 lors d'un match de compétition. Le nombre moyen d'activations des bandeaux instrumentés par séance d'acquisition était de 4,6 lors des entraînements et de 14,9 lors des matchs de compétition, tel que présenté au Tableau 4.3.

Tableau 4.3 Nombre moyen, par séance d'acquisition, de techniques de tête, d'impacts involontaires et d'activations des bandeaux instrumentés chez les joueurs

Séance d'acquisition	Techniques de tête	Impacts involontaires	Activations des bandeaux
Entraînements	1,7	7,4	4,6
Matchs de compétition	11,5	18,4	14,9

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueurs lors des entraînements et lors des matchs de compétition sont présentées au Tableau 4.4. Lors des entraînements, les accélérations linéaires moyennes et les accélérations angulaires moyennes des techniques de tête n'ont pas été significativement différentes des accélérations linéaires moyennes ($p = 0,48$) et les accélérations angulaires moyennes ($p = 0,15$) des impacts involontaires. Mais, lors des matchs de compétition, les accélérations linéaires moyennes et les accélérations angulaires moyennes des techniques de tête ont été significativement plus importantes que les accélérations linéaires moyennes ($p < 0,05$) et les accélérations angulaires moyennes ($p < 0,05$) des impacts involontaires.

Tableau 4.4 Valeurs minimales, maximales et moyennes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires des joueurs selon le type de séance d'acquisition

	Entraînements saison d'été				Matchs de compétition saison d'été			
	Techniques de tête		Impacts involontaires		Techniques de tête		Impacts involontaires	
Accélération	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)
Minimum	16,0	600	15,2	800	14,7	1 000	15,0	600
Maximum	76,2	9 600	36,8	5 800	68,1	15 000	82,9	12 000
Moyenne	24,0	2 483	18,5	1 773	35,5	4 175	19,8	1 964

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des vitesses angulaires subies à la tête des joueurs lors des entraînements et lors des matchs de compétition sont présentées au Tableau 4.5. Lors des entraînements, les vitesses angulaires moyennes des techniques de tête n'ont

pas été significativement différentes des vitesses angulaires moyennes ($p = 0,08$) des impacts involontaires. Toutefois, lors des matchs de compétition, les vitesses angulaires moyennes des techniques de tête ont été significativement plus importantes que les vitesses angulaires moyennes ($p < 0,05$) des impacts involontaires.

Tableau 4.5 Valeurs minimales, maximales et moyennes des vitesses angulaires de la tête des joueurs selon le type de séance d'acquisition

	Entraînements saison d'été		Matchs de compétition saison d'été	
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Techniques de tête	Impacts involontaires
Minimum	3,0 rad/s	2,8 rad/s	4,5 rad/s	2,4 rad/s
Maximum	45,1 rad/s	18,7 rad/s	39,1 rad/s	41,8 rad/s
Moyenne	11,5 rad/s	8,2 rad/s	15,5 rad/s	9,1 rad/s

4.1.2 Accélérations et vitesses de la tête mesurées chez les joueuses

Chez les joueuses, 294 activations des bandeaux instrumentés ont été enregistrées, dont 139 lors des matchs de compétition de la saison d'été et 155 lors des matchs de compétition de la saison d'automne, tel que présenté au Tableau 4.6. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés lors des matchs de compétition de la saison d'automne n'a pas été significativement différente ($p = 0,24$) de la fréquence des matchs de compétition de la saison d'été. Les techniques de tête ont été responsables de 208 des 294 (70,8 %) activations des bandeaux instrumentés contre 86 (29,3 %) pour les impacts involontaires, tel que présenté au Tableau 4.6. La fréquence des techniques de tête a été significativement plus importante ($p = 0,001$) que la fréquence des impacts involontaires.

Tableau 4.6 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le type de séance d'acquisition chez les joueuses

Séance d'acquisition	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
Matchs de compétition saison d'été	97	42	139
Matchs de compétition saison d'automne	111	44	155
Total	208	86	294

Le nombre maximal des activations des bandeaux instrumentés pour une joueuse a été de cinq lors d'un match de compétition de la saison d'été et de neuf lors d'un match de compétition de la saison d'automne. Le nombre moyen des activations des bandeaux instrumentés par séance d'acquisition était de 7,7 lors des matchs de compétition de la saison d'été et de 9,7 lors des matchs de compétition de la saison d'automne, tel que présenté au Tableau 4.7.

Tableau 4.7 Nombre moyen, par séance d'acquisition, techniques de tête, d'impacts involontaires et d'activations des bandeaux instrumentés chez les joueuses

Séance d'acquisition	Techniques de tête	Impacts involontaires	Activations des bandeaux
Matchs de compétition saison d'été	10,8	4,7	7,7
Matchs de compétition saison d'automne	12,3	4,9	9,7

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne sont regroupées au Tableau 4.8. Lors de la saison d'été, les accélérations linéaires moyennes et les accélérations angulaires moyennes des techniques de tête ont été significativement plus importantes que les accélérations linéaires moyennes ($p < 0,05$) et les accélérations angulaires moyennes ($p = 0,001$) des impacts involontaires. Lors de la saison d'automne, les accélérations linéaires moyennes et les accélérations

angulaires moyennes des techniques de tête ont aussi été significativement plus élevées que les accélérations linéaires moyennes ($p < 0,05$) et les accélérations angulaires moyennes ($p = 0,003$) des impacts involontaires.

Tableau 4.8 Valeurs minimales, maximales et moyennes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueuses selon le type de séance d'acquisition

	Matchs de compétition saison d'été				Matchs de compétition saison d'automne			
	Techniques de tête		Impacts involontaires		Techniques de tête		Impacts involontaires	
Accélération	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)	Lin. (g)	Ang. (rad/s ²)
Minimum	15,6	700	15,3	600	15,0	1 000	15,0	700
Maximum	65,4	9 100	67,3	8 200	65,0	12 900	46,4	9 700
Moyenne	32,8	3 334	21,2	2 095	31,7	3 486	20,1	2 382

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des vitesses angulaires subies à la tête des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne sont regroupées au Tableau 4.9. Lors de la saison d'été, les vitesses angulaires moyennes des techniques de tête ont été significativement plus élevées que les vitesses angulaires moyennes ($p = 0,02$) des impacts involontaires. Lors de la saison d'automne, les vitesses angulaires moyennes des techniques de tête ont aussi été significativement plus importantes que les vitesses angulaires moyennes ($p = 0,005$) des impacts involontaires.

Tableau 4.9 Valeurs minimales, maximales et moyennes des vitesses angulaires de la tête des joueuses selon le type de séance d'acquisition

	Matchs de compétition saison d'été		Matchs de compétition saison d'automne	
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Techniques de tête	Impacts involontaires
Minimum	3,4 rad/s	3,1 rad/s	3,1 rad/s	3,0 rad/s
Maximum	30,2 rad/s	27,6 rad/s	31,3 rad/s	29,1 rad/s
Moyenne	13,1 rad/s	10,1 rad/s	14,3 rad/s	10,1 rad/s

Pour répondre à l'hypothèse H1-1 et à l'hypothèse H1-2, les amplitudes des accélérations de la tête des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été ont été comparées aux amplitudes des accélérations moyennes de la tête des joueurs lors des matchs de compétition de la saison d'été, et ce, pour les techniques de tête et pour les impacts involontaires. Pour les amplitudes des accélérations linéaires moyennes (H1-1) :

- les moyennes des joueuses n'ont pas été significativement différentes des moyennes des joueurs pour les techniques de tête ($p = 0,18$);
- les moyennes des joueuses n'ont pas été significativement différentes des moyennes des joueurs pour les impacts involontaires ($p = 0,59$);

Pour les amplitudes des accélérations angulaires (H1-2) :

- les moyennes des joueuses ont été significativement différentes des moyennes des joueurs pour les techniques de tête ($p = 0,008$);
 - les moyennes des joueuses n'ont pas été plus élevées des moyennes des joueurs pour les techniques de tête;
- les moyennes des joueuses n'ont pas été significativement différentes des moyennes des joueurs pour les impacts involontaires ($p = 0,62$).

4.2 Évaluation des situations présentant un risque de TCCL

Cette section présente les accélérations linéaires et les accélérations angulaires subies à la tête des joueurs et des joueuses lors des séances d'acquisition qui ont été confrontées aux seuils de risque de TCCL établis par Zhang, Yang et King (2004) et par Rowson et al. (2012). Les seuils de risque de TCCL ont été présentés au Tableau 1.1 pour le critère de Zhang, Yang et King (2004) et au Tableau 1.2 pour le critère de Rowson et al. (2012).

4.2.1 Risque de TCCL identifié chez les joueurs

Cette sous-section présente les accélérations linéaires et les accélérations angulaires mesurées à la tête des joueurs lors des entraînements et lors des matchs de compétition qui ont été confrontées aux seuils de risque établis par Zhang, Yang et King (2004) et par Rowson et al. (2012). Elle présente aussi la fréquence des types de techniques de tête, la fréquence des types d'impacts involontaires et la fréquence des mouvements de la tête des joueurs.

Au cours de ce projet de recherche, aucun TCCL n'a été diagnostiqué chez les joueurs.

4.2.1.1 Entraînements de la saison d'été

La Figure 4.1 présente les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête des joueurs lors des 64 techniques de tête et impacts involontaires qui ont été observées lors des entraînements et qui ont été confrontées au critère de Zhang, Yang et King (2004).

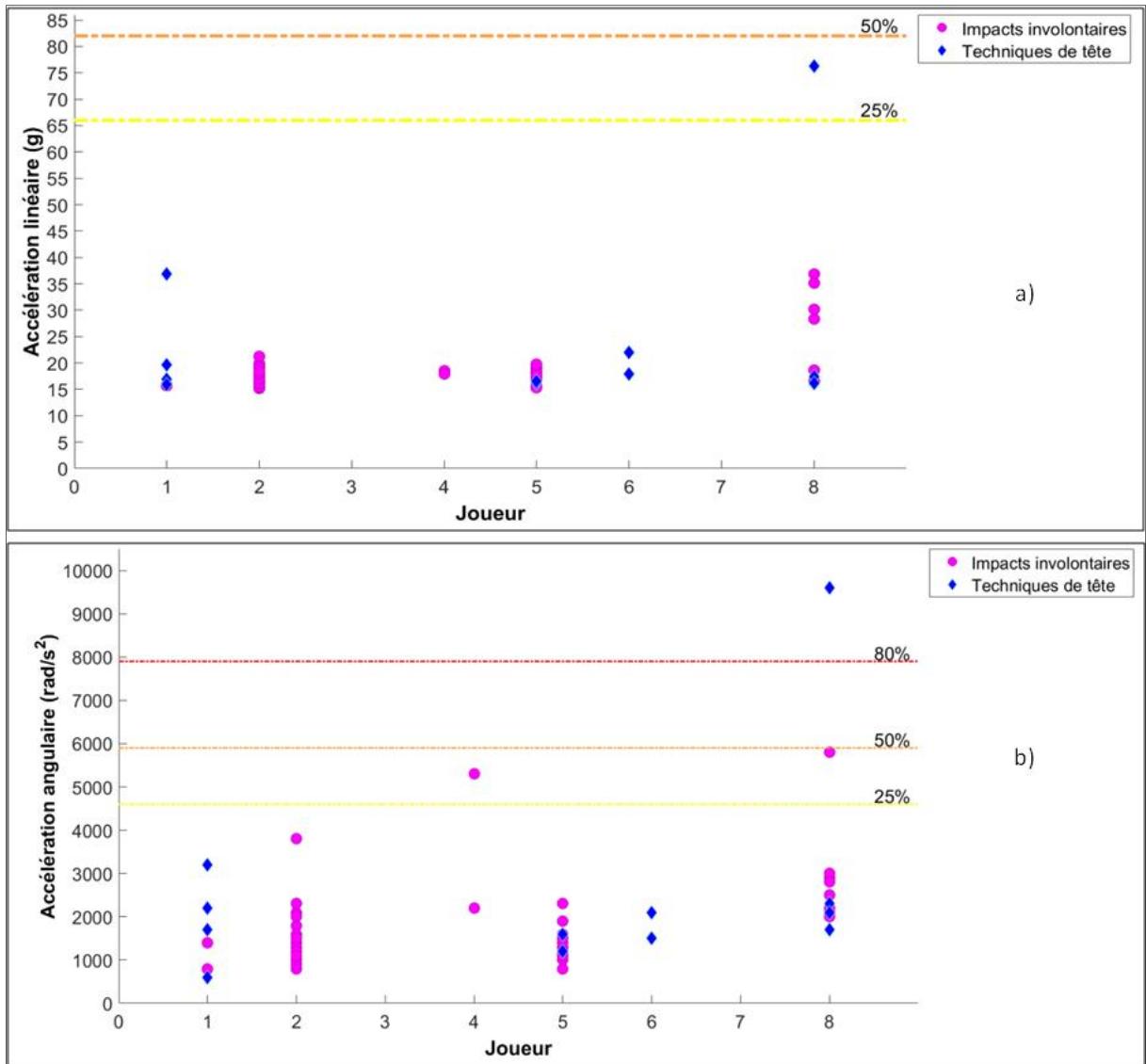


Figure 4.1 Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires de la tête des joueurs lors des entraînements : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s²)

Le Tableau 4.10 regroupe le nombre de techniques de tête et le nombre d'impacts involontaires qui ont dépassé les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) selon le type d'accélération subi à la tête des joueurs lors des entraînements.

Tableau 4.10 Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueurs ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements

Seuils de risque	Accélération linéaire		Accélération angulaire	
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Techniques de tête	Impacts involontaires
25 %	1	-	-	2
50 %	-	-	-	-
80 %	-	-	1	-

Pour les entraînements, les observations principales étaient les suivantes :

- des 64 activations des bandeaux instrumentés :
 - quatre ont franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004), dont deux étaient des techniques de tête et deux étaient impacts involontaires;
 - une seule technique de tête a dépassé les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012);
 - aucun impact involontaire n'a franchi les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012) lors des entraînements;
- la technique de tête qui a dépassé le seuil de risque de 80 % d'accélération angulaire du critère de Zhang, Yang et King (2004) a aussi franchi le seuil de risque de 90 % du critère de Rowson et al. (2012) avec une accélération angulaire de 9 600 rad/s² et une vitesse angulaire de 45,1 rad/s;

4.2.1.2 Matchs de compétition de la saison d'été

La Figure 4.2 présente les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête des joueurs lors des 239 techniques de tête et impacts involontaires qui ont été observées lors des matchs de compétition et qui ont été confrontées au critère de Zhang, Yang et King (2004).

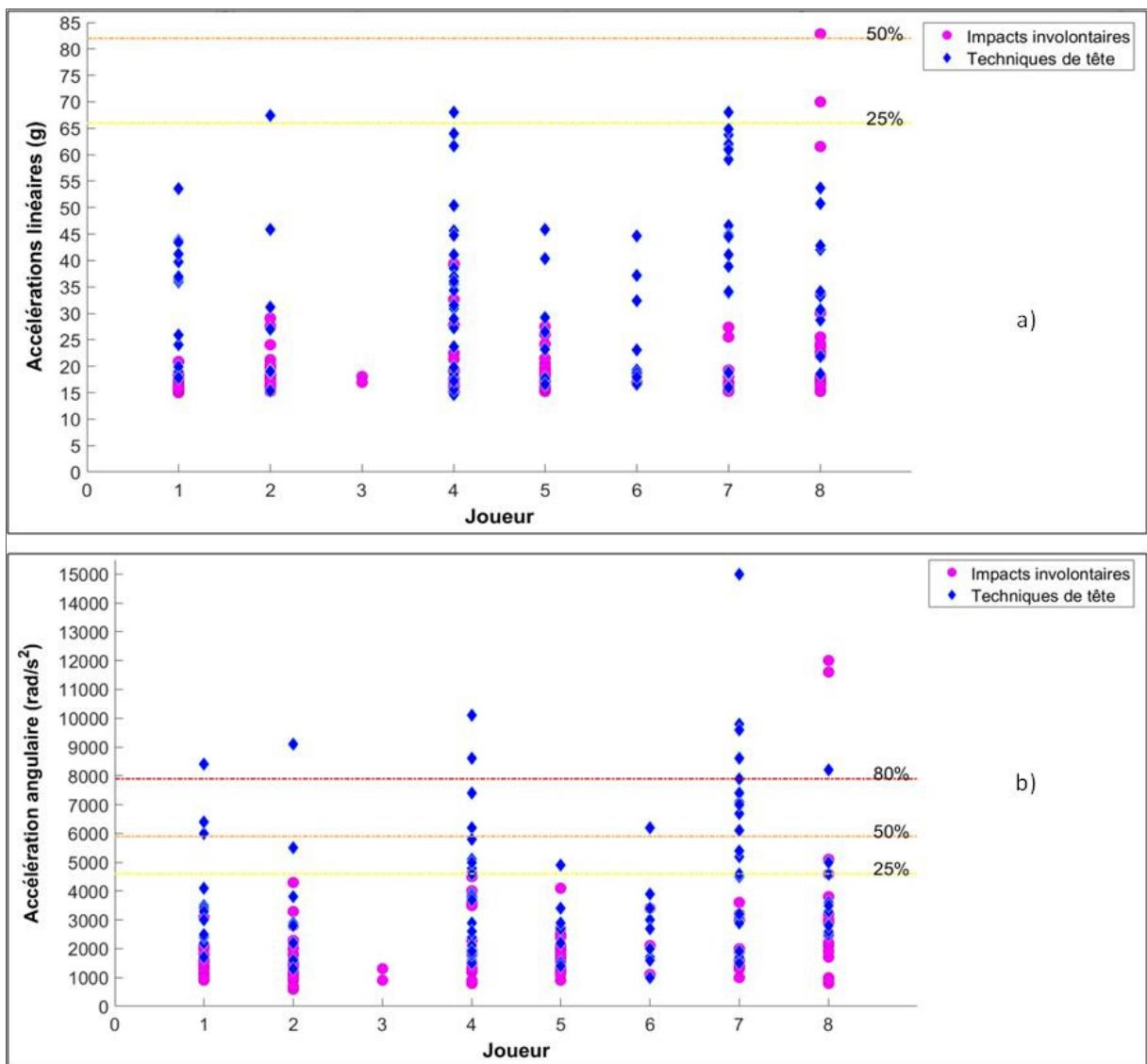


Figure 4.2 Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires de la tête des joueurs lors des matchs de compétition : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s²)

Le Tableau 4.11 regroupe le nombre de techniques de tête et le nombre d'impacts involontaires qui ont dépassé les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) selon le type d'accélération subi à la tête des joueurs lors des matchs de compétition. Le Tableau 4.12 regroupe les accélérations angulaires et les vitesses angulaires des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012). Le nombre maximum d'activations des bandes instrumentées dépassant les seuils de risque par joueur selon le type de séance d'acquisition est présenté au Tableau 4.13.

Pour les matchs de compétition, les observations principales étaient les suivantes :

- des 92 techniques de tête :
 - 36 ont franchi les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
 - huit ont dépassé les seuils de risque de Rowson et al. (2012);
- des 147 impacts involontaires :
 - sept ont franchi les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
 - deux ont dépassé les seuils de risque de Rowson et al. (2012);
- le nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés dépassant les seuils de risque chez un joueur lors d'une séance d'acquisition était de :
 - deux lors des entraînements;
 - quatre lors des matchs de compétition.

Tableau 4.11 Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueurs ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition

Seuils de risque	Accélération linéaire		Accélération angulaire	
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Techniques de tête	Impacts involontaires
25 %	3	1	13	3
50 %	-	1	10	-
80 %	-	-	10	2

Tableau 4.12 Techniques de tête et impacts involontaires ayant franchi les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012) pour les joueurs lors des matchs de compétition

Seuils de risque	Techniques de tête		Impacts involontaires	
	Accélération angulaire (rad/s²)	Vitesse angulaire (rad/s)	Accélération angulaire (rad/s²)	Vitesse angulaire (rad/s)
10 %	9 600	23,8	-	-
	8 400	24,3		
25 %	7 400	27,4		
	7 900	28,2	-	-
	6 200	28,9		
50 %	9 800	29,6	-	-
75 %	-	-	-	-
90 %	15 000	34,9	11 600	41,2
	8 200	39,1	12 000	41,8

Tableau 4.13 Nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés ayant franchi les seuils de risque par joueur selon le type de séance d'acquisition

Séance d'acquisition	Activations des bandeaux
Entraînements	2
Matchs de compétition	4

4.2.1.3 Fréquence des types de techniques de tête

Les 104 techniques de tête identifiées lors des entraînements et des matchs de compétition ont été regroupées en 5 catégories, tel que présenté à la Figure 4.3. Les types de techniques de tête qui ont dépassé les seuils de risque selon le critère de Zhang, Yang et King (2004) sont regroupés au Tableau 4.14 et au Tableau 4.15 selon le critère de Rowson et al. (2012). Les principales observations concernant les fréquences des types de techniques de tête étaient les suivantes :

- le type de techniques de tête le plus fréquent a été le saut, tant pour les entraînements que pour les matchs de compétition;
- lors des matchs de compétition, des 64 techniques de tête de la catégorie saut, 23 (35,9 %) ont été réalisées en présence d'au moins un joueur adverse;
- aucun saut n'a été effectué en présence d'un autre joueur lors des entraînements;
- lors des entraînements, une seule technique de tête de la catégorie saut a franchi les seuils de risque :
 - ce saut a dépassé le seuil de risque de 25 % pour l'accélération linéaire et le seuil de risque de 80 % pour l'accélération angulaire selon le critère de Zhang, Yang et King (2004). Pour le critère de Rowson et al. (2012), ce saut a franchi le seuil de risque de 90 %;
- le type de techniques de tête qui a engendré le plus grand risque de TCCL lors des matchs de compétition a été le saut :
 - pour le critère de Zhang, Yang et King (2004) le saut qui a dépassé le seuil de risque de 25 % de l'accélération linéaire a aussi dépassé le seuil de risque de 80 % de l'accélération angulaire;
 - pour le critère de Rowson et al. (2012), six des huit techniques de tête qui ont dépassé les seuils de risque ont été engendrés par des sauts.

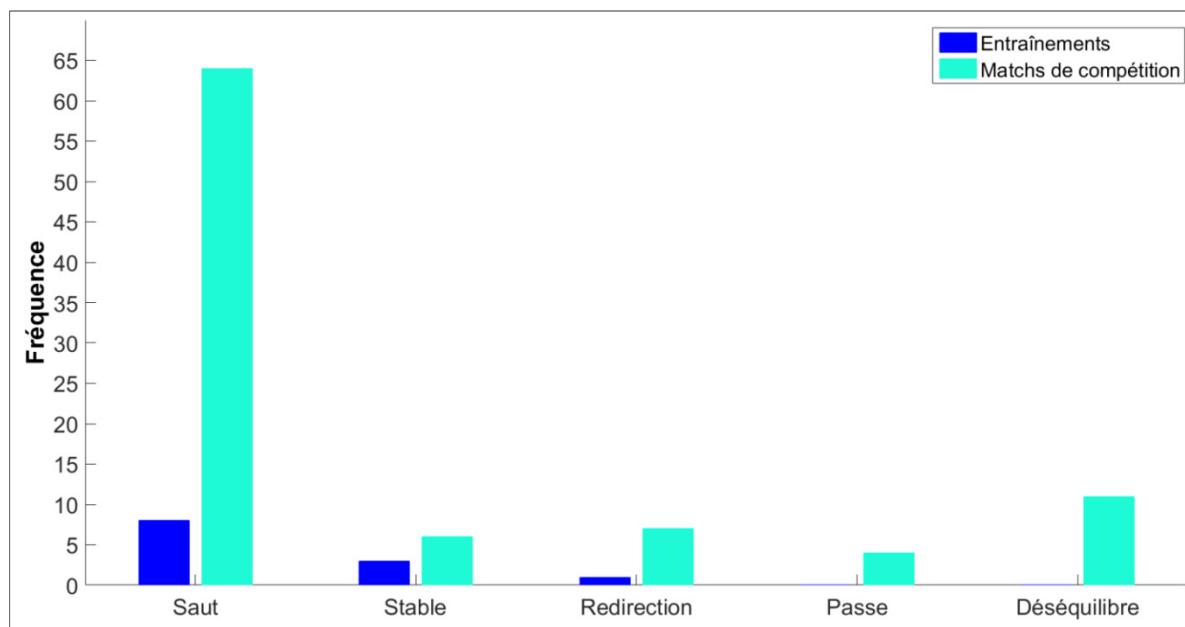


Figure 4.3 Fréquence des types de techniques de tête lors des entraînements et lors des matchs de compétition

Tableau 4.14 Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements et des matchs de compétition

	Entraînements saison d'été		Matchs de compétition saison d'été	
Seuils de risque	Accélération linéaire	Accélération angulaire	Accélération linéaire	Accélération angulaire
25 %	1 saut	-	1 saut 1 redirection 1 stable	11 sauts 2 stable
50 %	-	-	-	7 sauts 1 redirection 1 stable 1 déséquilibre
80 %	-	1 saut	-	7 sauts 3 stables

Tableau 4.15 Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des entraînements et des matchs de compétition

Seuils de risque	Entraînements saison d'été	Matchs de compétition saison d'été
10 %	-	2 sauts
25 %	-	1 saut 1 stable
50 %	-	1 saut 1 stable
75 %	-	-
90 %	1 saut	2 sauts

4.2.1.4 Fréquence des types d'impacts involontaires

Les 199 impacts involontaires identifiés lors des entraînements et lors des matchs de compétition ont été regroupés en 10 catégories, tel que présenté à la Figure 4.4. Les types d'impacts involontaires qui ont dépassé les seuils de risque des accélérations du critère de

Zhang, Yang et King (2004) sont regroupés au Tableau 4.16. Les principales observations concernant les fréquences des types d'impacts involontaires étaient les suivantes :

- selon le critère de Zhang, Yang et King (2004), lors des entraînements et lors des matchs de compétition, sept impacts involontaires différents ont franchi les seuils de risque des accélérations linéaires et des accélérations angulaires. Six des sept impacts involontaires ont impliqué le même joueur;
- le type d'impacts involontaires le plus fréquent :
 - lors des entraînements a été la course de décélération;
 - lors des matchs de compétition a été le contact entre joueurs;
- le type d'impacts involontaires le plus à risque de causer un TCCL :
 - lors des matchs de compétition, et pour le critère de Zhang, Yang et King (2004), a été le contact entre joueurs;
 - lors des entraînements, aucun type d'impacts involontaires n'a été identifié comme étant le plus à risque de causer un TCCL;
- lors des matchs de compétition, deux impacts involontaires ont dépassé à la fois les seuils de risque des accélérations linéaires et des accélérations angulaires du critère de Zhang, Yang et King (2004) :
 - le premier impact involontaire était un contact entre joueurs et il a dépassé le seuil de risque de 50 % d'accélération linéaire et le seuil de risque de risque de 80 % d'accélération angulaire;
 - le second impact involontaire provenait de la catégorie déséquilibre et identifié par une cheville tordue lors d'une course d'accélération. Ce déséquilibre a causé une accélération linéaire de la tête du joueur dépassant le seuil de 25 % et une accélération angulaire supérieure au seuil de 80 %;
 - ces deux impacts involontaires correspondaient aux impacts involontaires qui ont dépassé le seuil de risque de risque de 90 % du critère de Rowson et al. (2012).

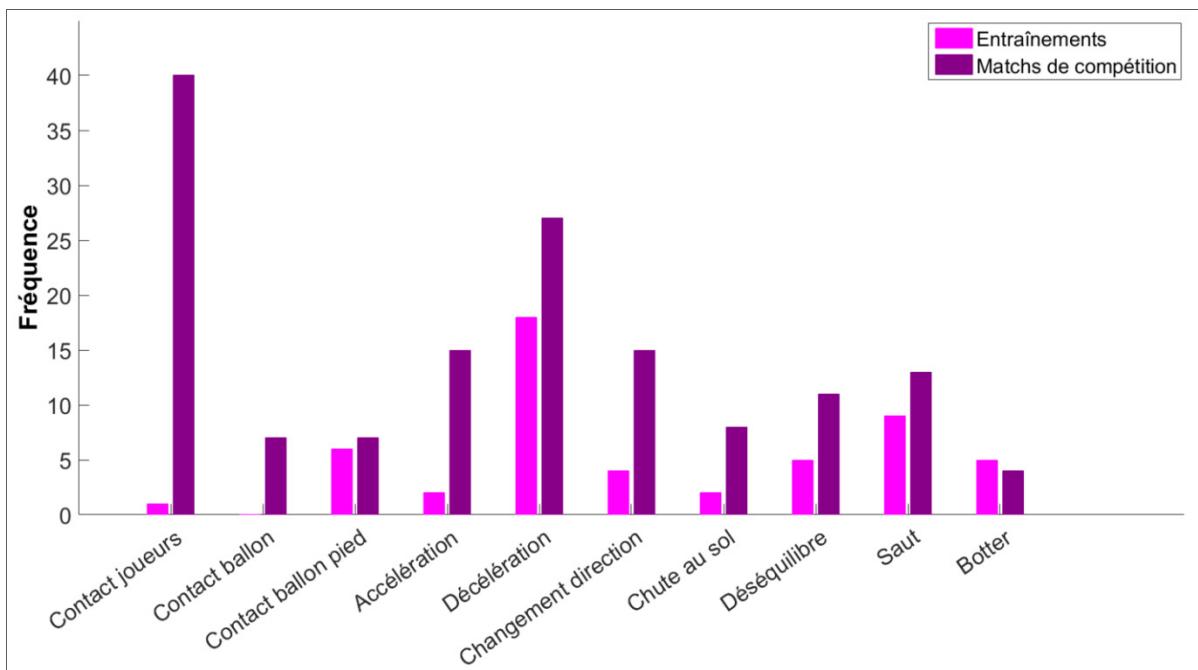


Figure 4.4 Fréquence des types d'impacts involontaires lors des entraînements et lors des matchs de compétition

Tableau 4.16 Nombres des types d'impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements et des matchs de compétition

Seuils de risque	Entraînements saison d'été		Matchs de compétition saison d'été	
	Accélération linéaire	Accélération angulaire	Accélération linéaire	Accélération angulaire
25 %	1 décélération	1 chute	1 déséquilibre	2 contacts entre joueurs 1 chute
50 %	-	-	1 contact entre joueurs	-
80 %	-	-	-	1 contact entre joueurs 1 déséquilibre

4.2.1.5 Fréquence du mouvement de la tête

Les différentes catégories utilisées pour l'analyse du mouvement de la tête sont présentées à la Figure 4.5, à la Figure 4.7 et à la Figure 4.6. Un exemple d'activation du bandeau instrument, causé par une technique de tête et qui a engendré un mouvement de la tête de la catégorie avant centre est présenté à la Figure 4.8.

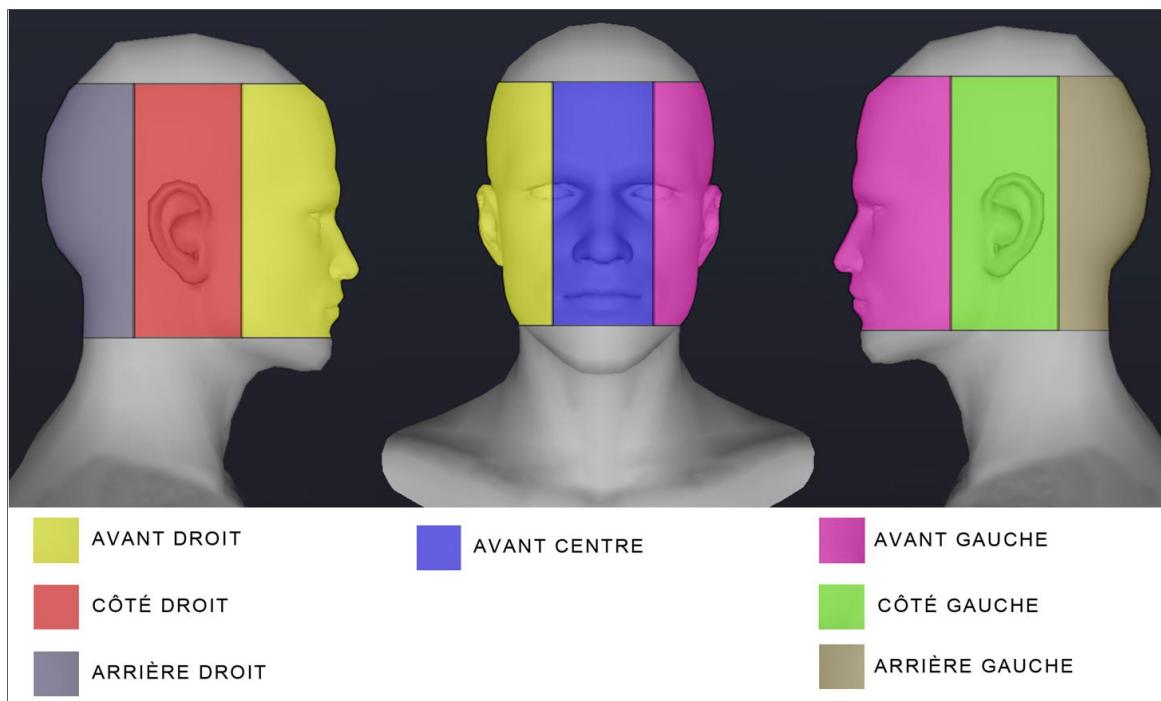


Figure 4.5 Identification du mouvement de la tête en vue de face et en vue latérale
Reproduite et adaptée avec l'autorisation de Triax Technologies inc. (2016)

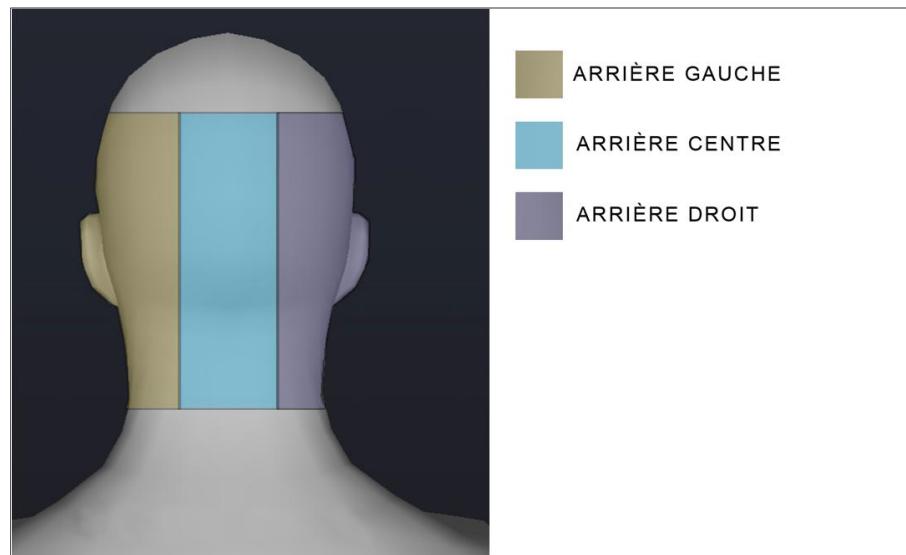


Figure 4.7 Identification du mouvement de la tête en vue arrière
Reproduite et adaptée avec l'autorisation de
Triax Technologies inc. (2016)

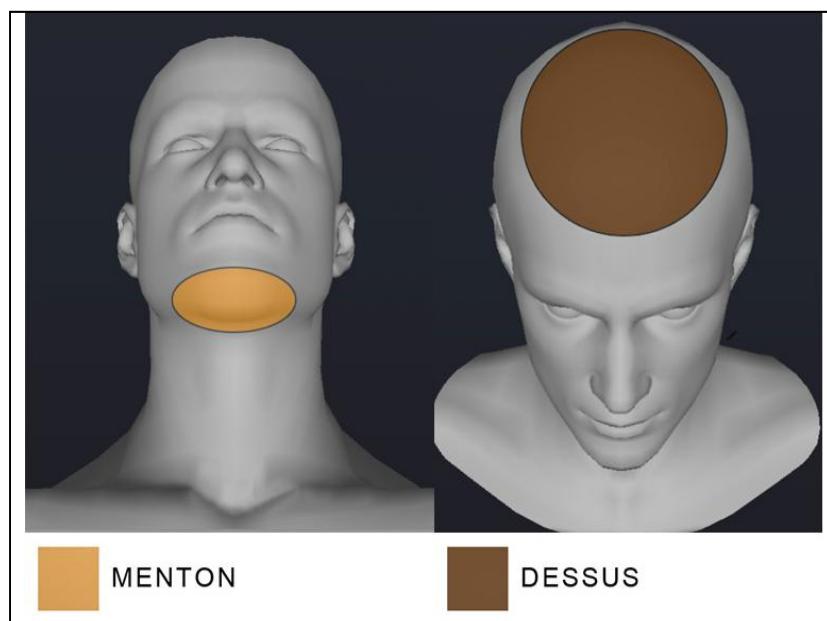


Figure 4.6 Identification du mouvement de la tête en vue de dessous et en vue de dessus
Reproduite et adaptée avec l'autorisation de
Triax Technologies inc. (2016)

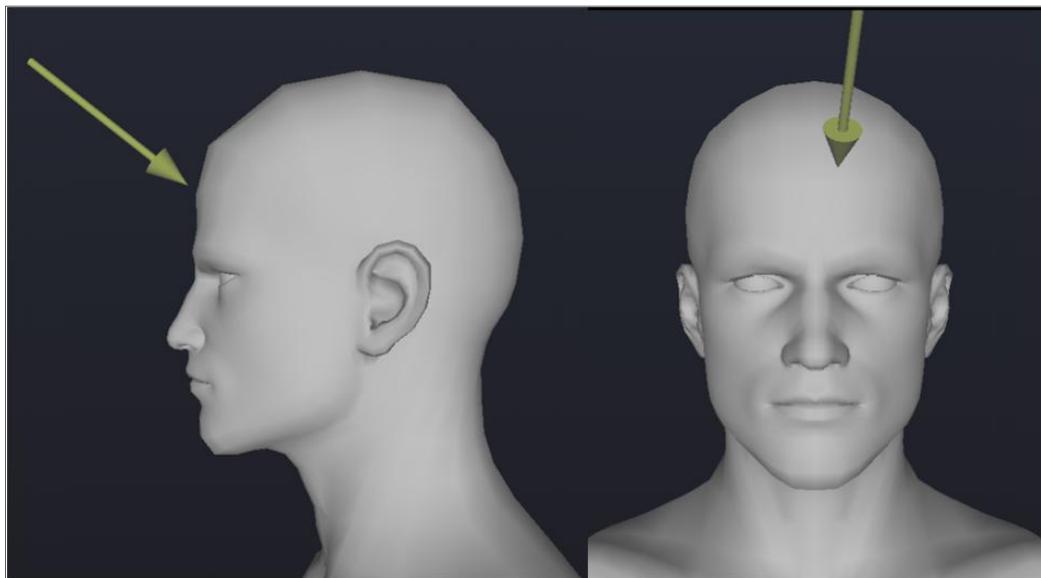


Figure 4.8 Exemple d'activation du bandeau instrumenté engendrant un mouvement de la tête de la catégorie avant centre
Reproduite et adaptée avec l'autorisation de Triax Technologies inc. (2016)

La Figure 4.9 présente la fréquence des mouvements de la tête en fonction des techniques de tête (a) et des impacts involontaires (b) lors des entraînements et lors des matchs de compétition chez les joueurs. Les principales observations concernant les mouvements de la tête étaient les suivantes :

- le mouvement de la tête le plus fréquent pour les techniques de tête, lors des entraînements et lors des matchs de compétition, a été la catégorie avant centre;
- le mouvement de la tête le plus fréquent pour les impacts involontaires, lors des entraînements et lors des matchs de compétition, a été la catégorie menton.

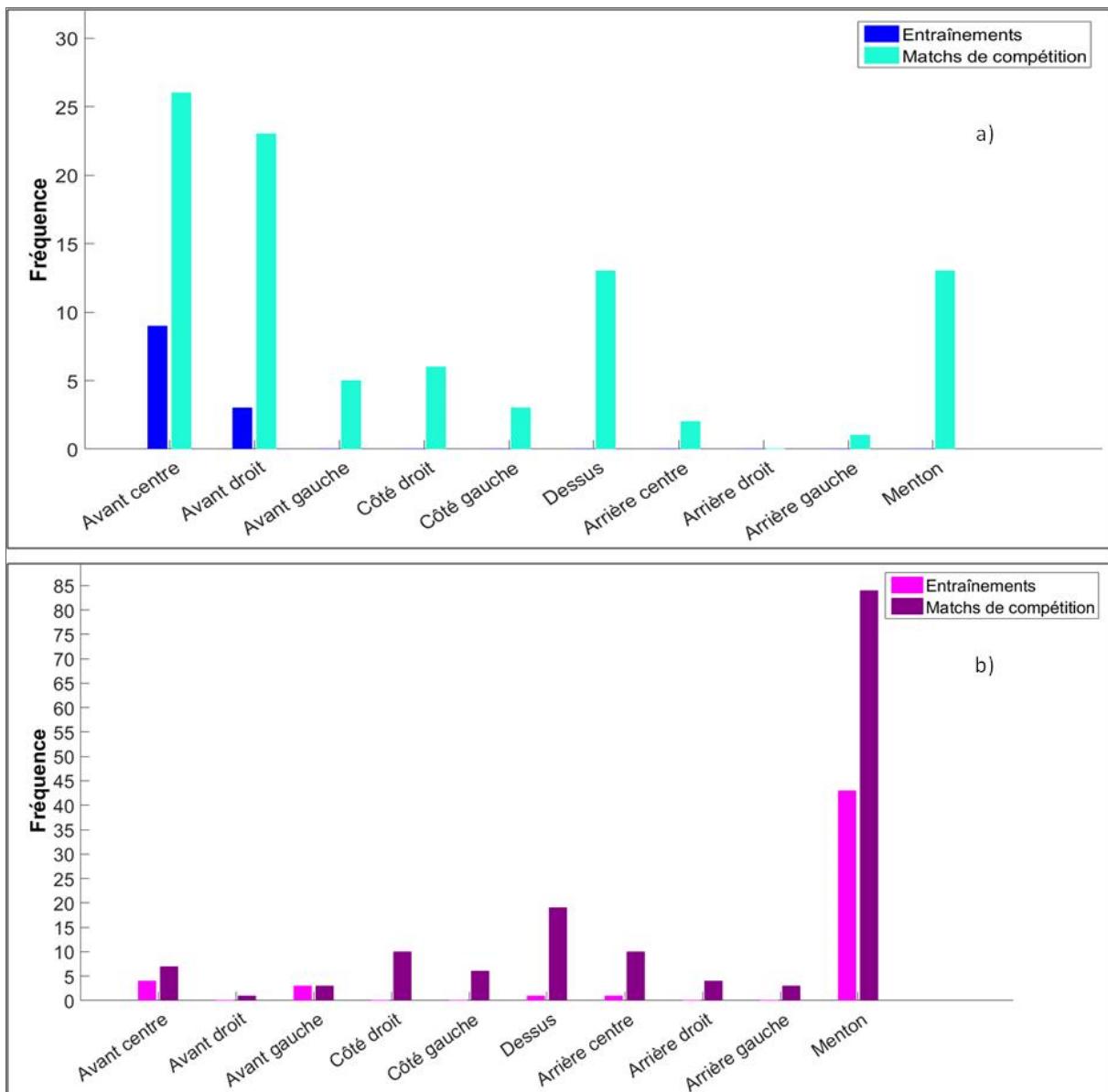


Figure 4.9 Fréquence du mouvement de la tête lors des entraînements et lors des matchs de compétition : a) techniques de tête et b) impacts involontaires

Les Figures 4.10 et 4.11 présentent les accélérations linéaires et les accélérations angulaires en fonction des catégories du mouvement de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires, respectivement, mesurées lors des entraînements et lors des matchs de compétition qui ont été confrontées au critère Zhang, Yang et King (2004).

Les mouvements de la tête associés aux techniques de tête et aux impacts involontaires qui ont franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) sont regroupés au Tableau 4.17 et sont regroupés au Tableau 4.18 pour le critère de Rowson et al. (2012). Les principales observations concernant les mouvements de la tête dépassant les seuils de risque de TCCL étaient les suivantes :

- selon le critère de Zhang, Yang et King (2004), le mouvement de la tête qui a engendré le plus de risque de causer un TCCL lors des entraînements et lors des matchs de compétition a été :
 - la catégorie avant droit pour les techniques de tête;
 - la catégorie avant gauche pour les impacts involontaires;
- selon le critère de Rowson et al. (2012), les mouvements de la tête qui ont engendré le plus de risque de TCCL lors des entraînements et lors des matchs de compétition ont été :
 - la catégorie avant centre et la catégorie avant droit pour les techniques de tête;
 - la catégorie arrière gauche et la catégorie arrière droit pour les impacts involontaires.

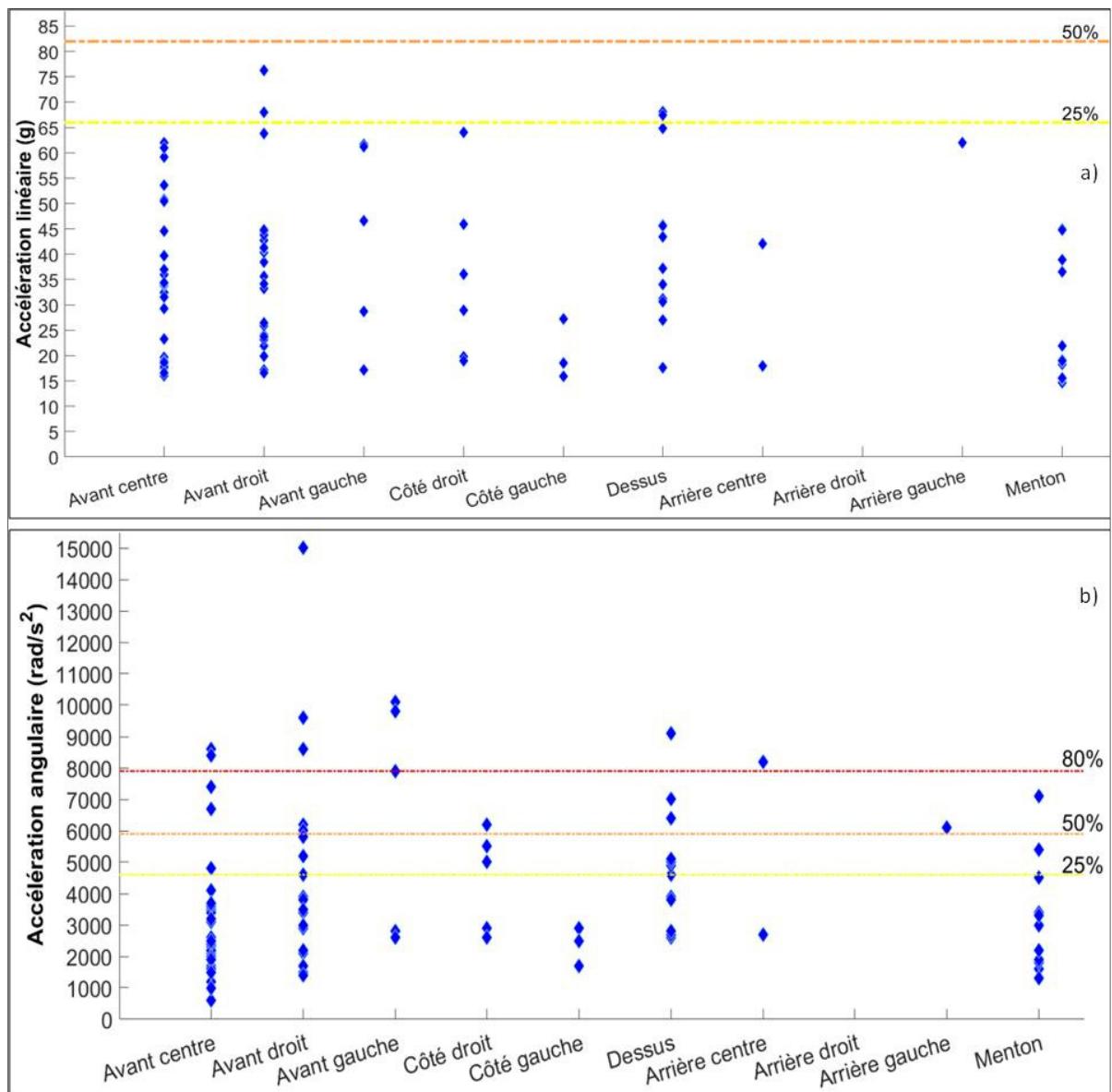


Figure 4.10 Accélérations des techniques de tête en fonction du mouvement de la tête des joueurs : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s²)

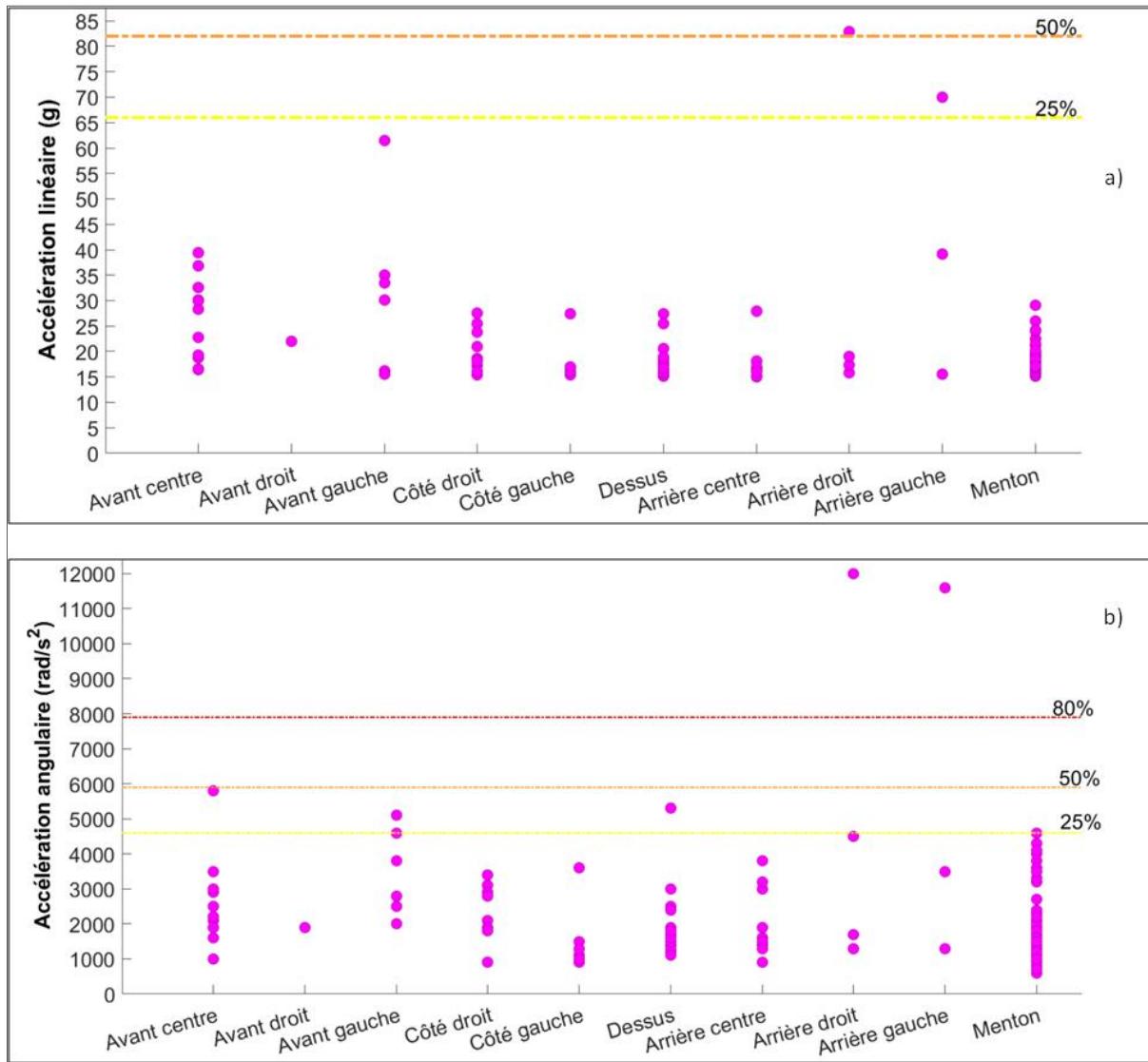


Figure 4.11 Accélérations des impacts involontaires en fonction du mouvement de la tête des joueurs a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s²)

Tableau 4.17 Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des entraînements et des matchs de compétition

Seuils de risque	Techniques de tête		Impacts involontaires	
	Accélération linéaire	Accélération angulaire	Accélération linéaire	Accélération angulaire
25 %	2 avant droit 2 dessus	1 avant centre 4 avant droit 3 côté droit 4 dessus 1 menton	1 avant gauche	1 avant centre 2 avant gauche 1 dessus 1 menton
50 %	-	3 avant centre 2 avant droit 1 côté droit 2 dessus 1 arrière gauche 1 menton	-	-
80 %	-	2 avant centre 4 avant droit 3 avant gauche 1 dessus	-	1 arrière droit 1 menton

Tableau 4.18 Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des entraînements et des matchs de compétition

Seuils de risque	Techniques de tête	Impacts involontaires
10 %	1 avant centre 1 avant droit	-
25 %	1 avant centre 1 avant gauche	-
50 %	1 avant gauche 1 avant droit	-
75 %	-	-
90 %	1 avant centre 1 avant droit 1 arrière centre	1 arrière gauche 1 arrière droit

4.2.2 Risque de TCCL identifié chez les joueuses

Cette sous-section présente les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne qui ont été confrontées aux seuils de risque établis par Zhang, Yang et King (2004) et par Rowson et al. (2012). Elle présente aussi la fréquence des types de techniques de tête, la fréquence des types d'impacts involontaires et la fréquence des mouvements de la tête des joueuses.

Au cours de ce projet de recherche, aucun TCCL n'a été diagnostiqué chez les joueuses.

4.2.2.1 Matchs de compétition de la saison d'été

La Figure 4.12 présente les accélérations linéaires et les accélérations angulaires de la tête des joueuses lors des 139 techniques de tête et impacts involontaires qui ont été observées lors des matchs de compétition de la saison d'été et qui ont été confrontées au critère de Zhang, Yang et King (2004).

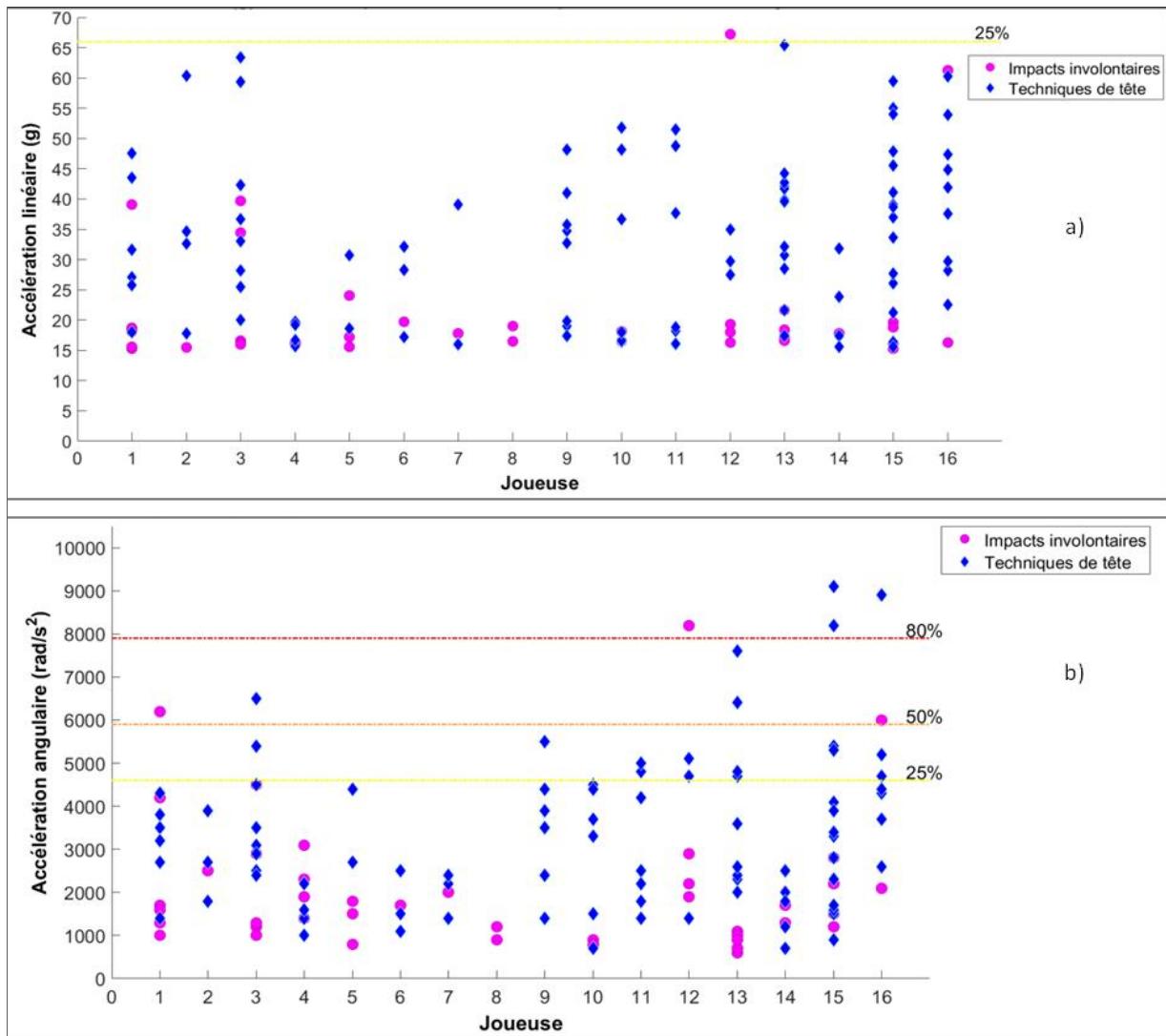


Figure 4.12 Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été : a) linéaires (g) b) angulaires (rad/s²)

Le Tableau 4.19 regroupe le nombre de techniques de tête et le nombre d'impacts involontaires qui ont dépassé les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) selon le type d'accélération subi à la tête des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été. Le Tableau 4.20 regroupe les accélérations angulaires et les vitesses angulaires des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012). Pour les matchs de compétition de la saison d'été, les principales observations étaient les suivantes :

- des 97 techniques de tête :
 - 20 ont franchi les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
 - trois ont dépassé les seuils de risque de Rowson et al. (2012);
- des 42 impacts involontaires :
 - quatre ont franchi les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
 - deux ont dépassé les seuils de risque de Rowson et al. (2012).

Tableau 4.19 Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueuses ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition de la saison d'été

Seuils de risque	Accélération linéaire		Accélération angulaire	
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Techniques de tête	Impacts involontaires
25 %	-	1	14	-
50 %	-	-	3	2
80 %	-	-	3	1

Tableau 4.20 Techniques de tête et impacts involontaires ayant franchi les seuils de Rowson et al. (2012) pour les joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été

Seuils de risque	Techniques de tête		Impacts involontaires	
	Accélération angulaire (rad/s²)	Vitesse angulaire (rad/s)	Accélération angulaire (rad/s²)	Vitesse angulaire (rad/s)
10 %	9 100 7 600	23,7 25,7	6 200	25,1
25 %	-	-	8 200	27,6
50 %	8 200	30,2	-	-
75 %	-	-	-	-
90 %	-	-	-	-

4.2.2.2 Matchs de compétition de la saison d'automne

La Figure 4.13 présente les accélérations linéaires et les accélérations angulaires des 155 techniques de tête et impacts involontaires qui ont été observées lors des matchs de compétition de la saison d'automne et qui ont été confrontées au critère de Zhang, Yang et King (2004).

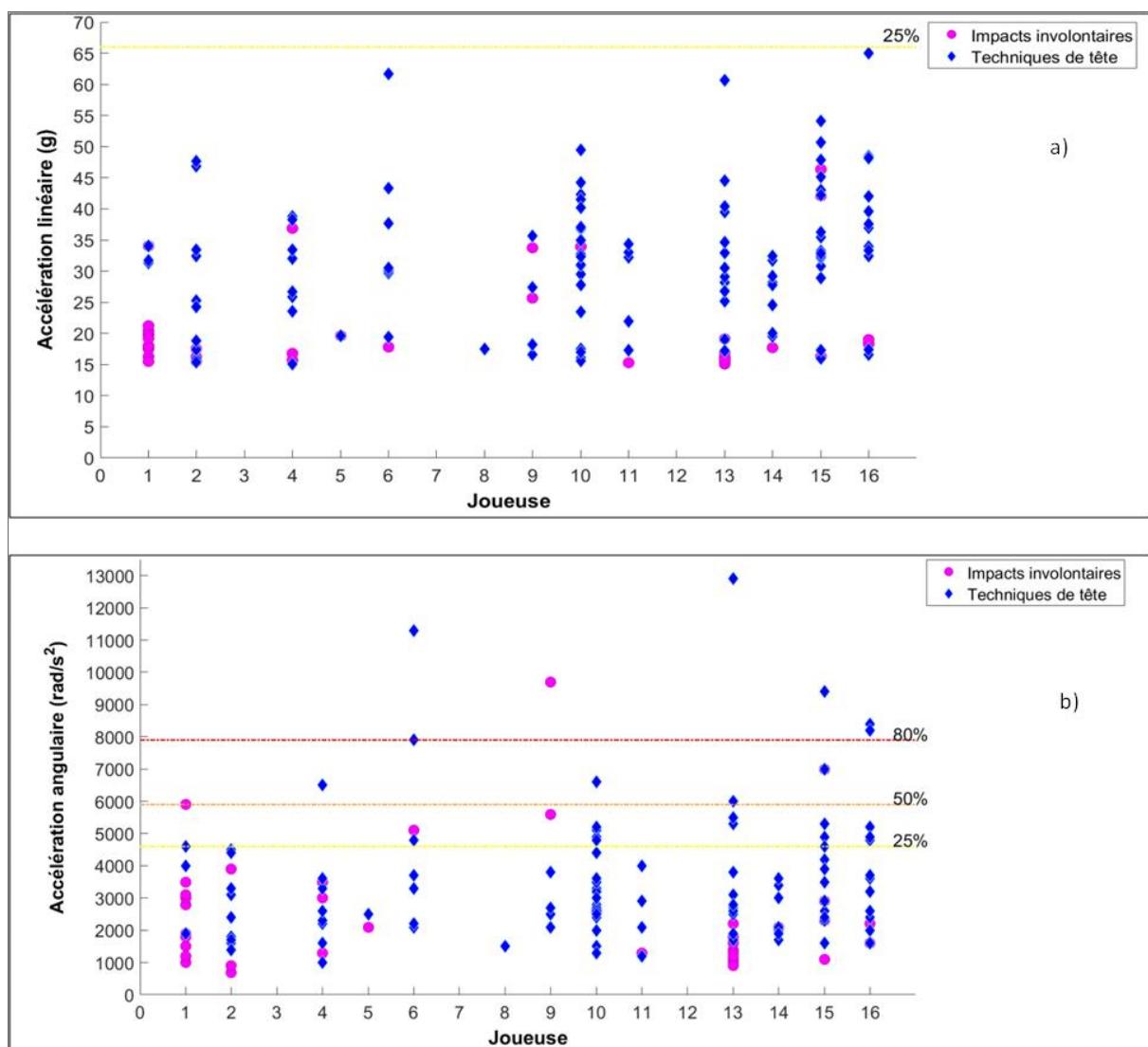


Figure 4.13 Accélérations des techniques de tête et des impacts involontaires des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'automne : a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s²)

Le Tableau 4.21 regroupe le nombre de techniques de tête et le nombre d'impacts involontaires qui ont dépassé les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) selon le type d'accélération subi à la tête des joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'automne. Le Tableau 4.22 regroupe les accélérations angulaires et les vitesses angulaires des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012). Le nombre maximum d'activations des bandeaux instrumentés dépassant les seuils de risque par joueuses lors d'une séance d'acquisition est présenté au Tableau 4.23. Pour les matchs de compétition de la saison d'automne, les principales observations étaient :

- des 111 techniques de tête :
 - 25 ont franchi les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
 - neuf ont dépassé les seuils de risque de Rowson et al. (2012);
- des 44 impacts involontaires :
 - cinq ont franchi les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
 - deux ont dépassé les seuils de risque de Rowson et al. (2012);
- le nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés dépassant les seuils de risque chez une joueuse lors d'une séance d'acquisition était de :
 - trois lors des matchs de compétition de la saison d'été;
 - trois lors des matchs de compétition de la saison d'automne.

Tableau 4.21 Nombres de techniques de tête et d'impacts involontaires des joueuses ayant franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition de la saison d'automne

Seuils de risque	Accélération linéaire		Accélération angulaire	
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Techniques de tête	Impacts involontaires
25 %	-	-	15	2
50 %	-	-	4	2
80 %	-	-	6	1

Tableau 4.22 Techniques de tête et impacts involontaires ayant franchi les seuils de Rowson et al. (2012) pour les joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'automne

Seuils de risque	Techniques de tête		Impacts involontaires	
	Accélération angulaire (rad/s²)	Vitesse angulaire (rad/s)	Accélération angulaire (rad/s²)	Vitesse angulaire (rad/s)
10 %	5 300	23,4	7 000	23,7
	6 000	24,3		
	6 600	25,1		
25 %	7 000	26,7	-	-
	9 400	27,4		
50 %	11 300	28,4	9 700	29,1
	6 500	28,6		
	7 900	30,3		
75 %	12 900	31,3	-	-
90 %	-	-	-	-

Tableau 4.23 Nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés par joueuse lors d'une séance d'acquisition selon le type de séance d'acquisition

Séance d'acquisition	Activations des bandeaux
Matchs de compétition saison été	3
Matchs de compétition saison automne	3

4.2.2.3 Fréquence des types de techniques de tête

Les 208 techniques de tête identifiées lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne ont été regroupées en 5 catégories, tel que présenté à la Figure 4.14. Les types de techniques de tête qui ont dépassé les seuils de risque selon le critère de Zhang, Yang et King (2004) sont regroupés au Tableau 4.24 et au Tableau 4.25 selon le critère de Rowson et al. (2012). Les principales observations étaient les suivantes :

- lors des matchs de compétition de la saison d'été :

- 16 des 97 (16,5 %) techniques de tête ont été exécutées lors d'une remise en jeu en touche;
- le type de technique de tête le plus fréquent a été le saut;
- pour la catégorie saut, 17 des 39 (43,6 %) ont été réalisées lors de la présence d'au moins une joueuse adverse;
- lors des matchs de compétition de la saison d'automne :
 - 51 des 111 (45,9 %) techniques de tête ont été exécutées lors d'une remise en jeu en touche;
 - le type de technique de tête le plus fréquent a été la redirection du ballon;
 - pour la catégorie saut, 10 des 34 (29,4 %) ont été réalisées lors de la présence d'au moins une joueuse adverse;
- le type de techniques de tête qui a engendré le plus grand risque de TCCL a été :
 - la redirection du ballon, pour le critère de Zhang, Yang et King (2004), lors de la saison d'été et de la saison d'automne;
 - le saut, pour le critère de Rowson et al. (2012), lors de la saison d'été;
 - la redirection du ballon et le saut, pour le critère de Rowson et al. (2012), lors de la saison d'automne.

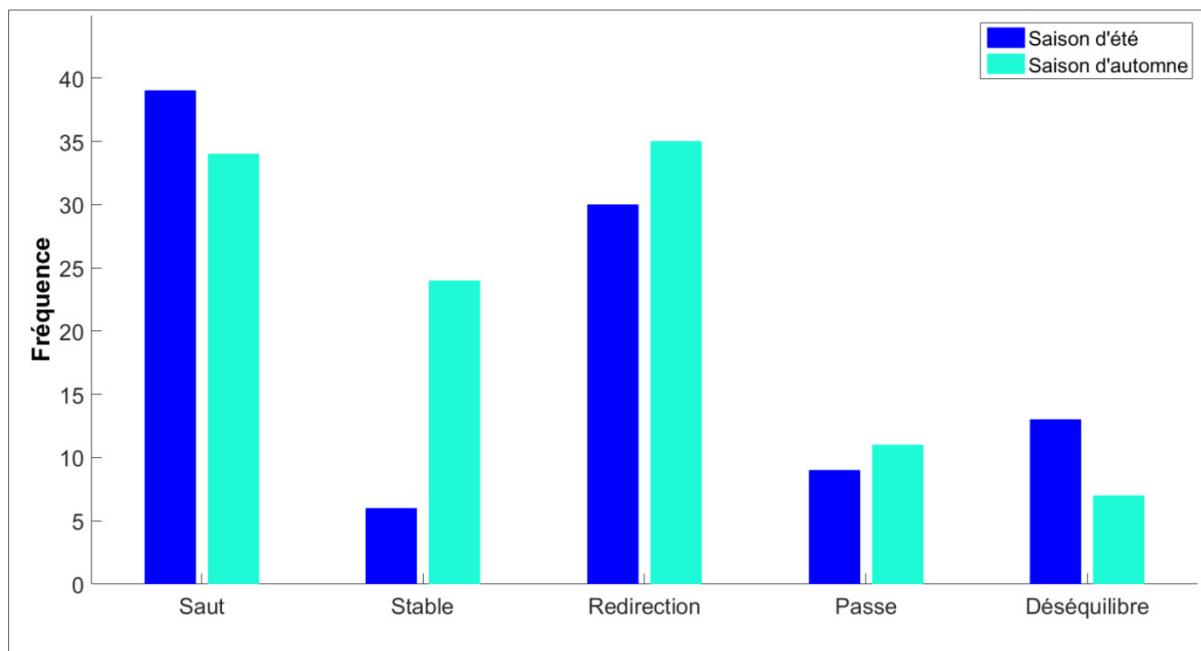


Figure 4.14 Fréquence des types de techniques de tête lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

Tableau 4.24 Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

Seuils de risque	Matchs de compétition saison été		Matchs de compétition saison automne	
	Accélération linéaire	Accélération angulaire	Accélération linéaire	Accélération angulaire
25 %	-	3 sauts 3 stables 7 redirections 2 passes 2 instables	-	8 redirections 5 stables 2 instables
50 %	-	1 stable 2 instables	-	3 sauts 1 redirection
80 %	-	3 sauts	-	1 saut 3 redirections 1 passe 1 instable

Tableau 4.25 Nombres des types de techniques de tête ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des matchs compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

Seuils de risque	Matchs de compétition saison d'été	Matchs de compétition saison d'automne
10 %	1 saut 1 déséquilibre	2 sauts 1 stable
25 %	-	1 redirection 1 saut
50 %	1 saut	2 redirections 1 passe
75 %	-	1 déséquilibre
90 %	-	-

4.2.2.4 Fréquence des types d'impacts involontaires

Les 86 impacts involontaires identifiés lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne ont été regroupés en 9 catégories, tel que présenté à la Figure 4.15. Le

Tableau 4.26 regroupe les types d'impacts involontaires qui ont dépassé les seuils de risque des accélérations linéaires et des accélérations angulaires selon le critère de Zhang, Yang et King (2004). Les principales observations concernant les types d'impacts involontaires étaient les suivantes :

- le type d'impacts involontaires le plus fréquent a été le contact entre joueuses lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne;
 - lors de la saison d'été, aucun type d'impacts involontaires n'a été identifié comme étant le plus à risque de causer un TCCL;
 - le contact entre joueuses a aussi été le type d'impacts involontaires le plus à risque d'engendrer un TCCL lors de la saison d'automne;
- lors des matchs de compétition de la saison d'été :
 - pour le Zhang, Yang et King (2004), le contact avec le ballon qui a franchi le seuil de risque de 25 % d'accélération linéaire a aussi franchi le seuil de risque de 80 % d'accélération angulaire;
 - pour le critère de Rowson et al. (2012), ce contact avec le ballon a atteint le seuil de risque 25 %;
 - le second impact involontaire qui a dépassé les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012) a dépassé le seuil de risque de 10 % et a été causé par un changement de direction;
- lors des matchs de compétition de la saison d'automne :
 - deux impacts involontaires ont atteint les seuils de risque du critère de Rowson et al. (2012). Ces impacts involontaires ont été engendrés par des contacts entre joueuses et ont franchi le seuil de risque de 10 % et le seuil de risque de 50 %.

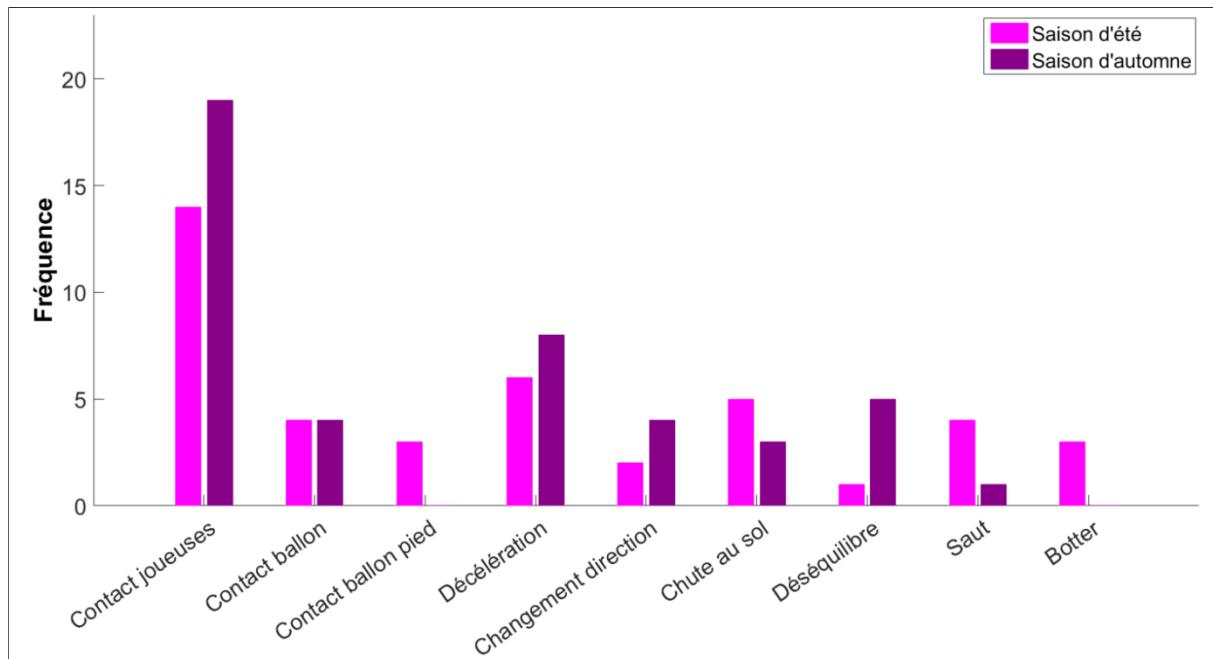


Figure 4.15 Fréquence des types d'impacts involontaires lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

Tableau 4.26 Nombres des types d'impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

Seuils de risque	Matchs de compétition saison été		Matchs de compétition saison automne	
	Accélération linéaire	Accélération angulaire	Accélération linéaire	Accélération angulaire
25 %	1 contact avec le ballon	-	-	1 contact entre joueuses 1 contact avec le ballon
50 %	-	1 contact entre joueuses 1 changement direction	-	1 contact entre joueuses 1 déséquilibre
80 %	-	1 contact avec le ballon	-	1 contact entre joueuses

4.2.2.5 Fréquence du mouvement de la tête

Comme pour les joueurs, les différentes catégories utilisées pour l'analyse des mouvements de la tête sont présentées à la Figure 4.5, à la Figure 4.7 et à la Figure 4.6.

La Figure 4.16 présente la fréquence du mouvement de la tête en fonction des techniques de tête (a) et des impacts involontaires (b) lors des matchs de compétition de la saison d'été et lors des matchs de compétition de la saison d'automne. Les principales observations concernant les mouvements de la tête étaient les suivantes :

- lors des matchs de compétition de la saison d'été, le mouvement de la tête le plus fréquent a été :
 - la catégorie avant centre pour les techniques de tête;
 - la catégorie menton pour les impacts involontaires;
- lors des matchs de compétition de la saison d'automne, le mouvement de la tête le plus fréquent a été :
 - la catégorie avant droit pour les techniques de tête;
 - la catégorie arrière centre pour les impacts involontaires.

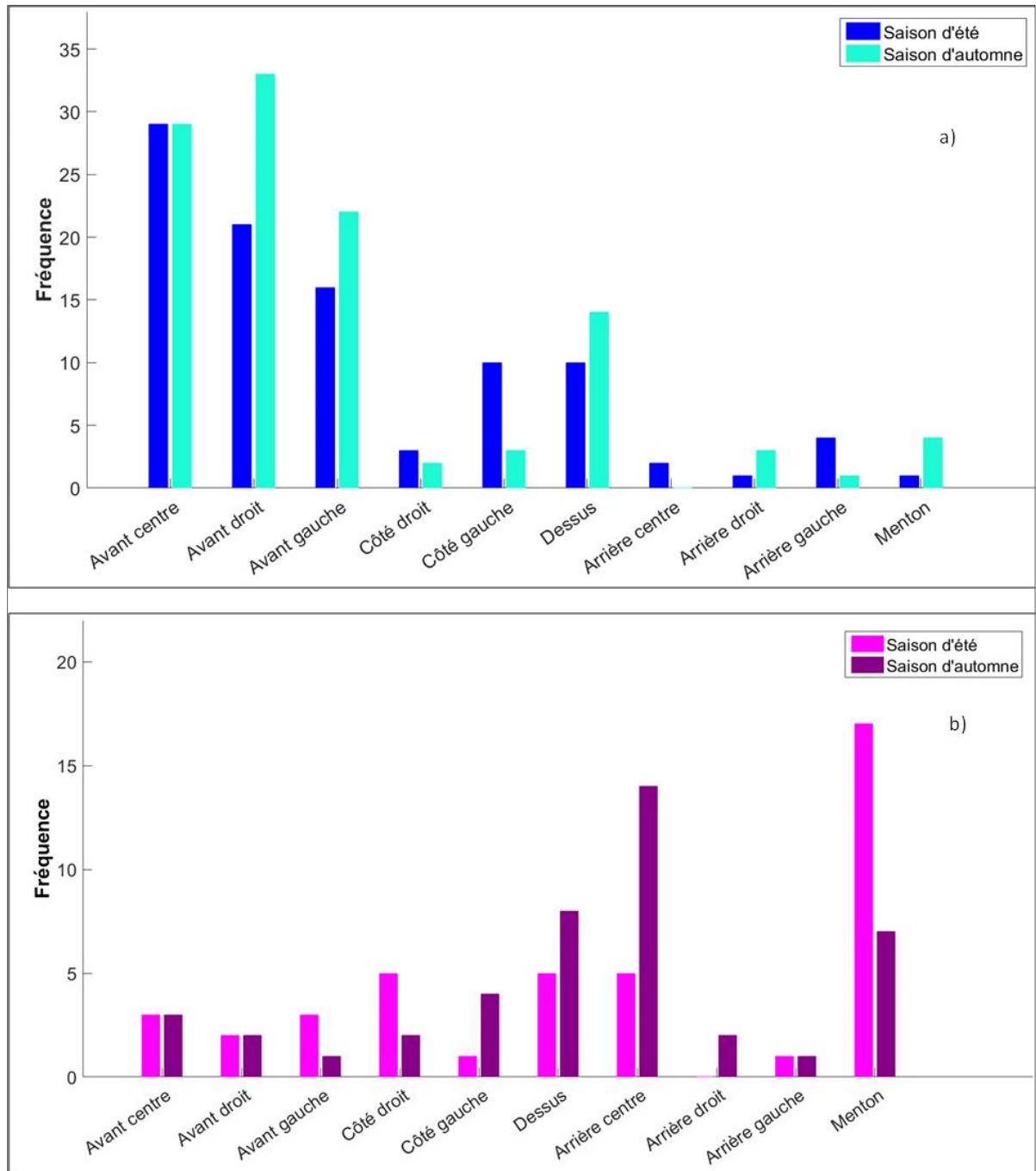


Figure 4.16 Fréquence du mouvement de la tête lors des matchs de compétition de la saison d'été et d'automne : a) techniques de tête et b) impacts involontaires

Les Figure 4.17 et Figure 4.18 présentent les accélérations linéaires et les accélérations angulaires en fonction des catégories du mouvement de la tête des joueuses des techniques de tête et des impacts involontaires, respectivement, mesurées lors des matchs de compétition de la saison d'été et lors de la saison d'automne qui ont été confrontées au critère Zhang, Yang et King (2004).

Les mouvements de la tête associés aux techniques de tête et aux impacts involontaires qui ont franchi les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004) sont regroupés au Tableau 4.27 et sont regroupés au Tableau 4.28 pour le critère de Rowson et al. (2012). Les principales observations concernant les mouvements de la tête dépassant les seuils de risque étaient les suivantes :

- selon le critère de Zhang, Yang et King (2004), le mouvement de la tête qui a engendré le plus de risque de causer un TCCL lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne a été :
 - la catégorie avant droit pour les techniques de tête;
 - la catégorie côté gauche pour les impacts involontaires;
- selon le critère de Rowson et al. (2012), le mouvement de la tête qui a engendré le plus de risque de causer un TCCL lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne a été :
 - la catégorie avant gauche pour les techniques de tête.

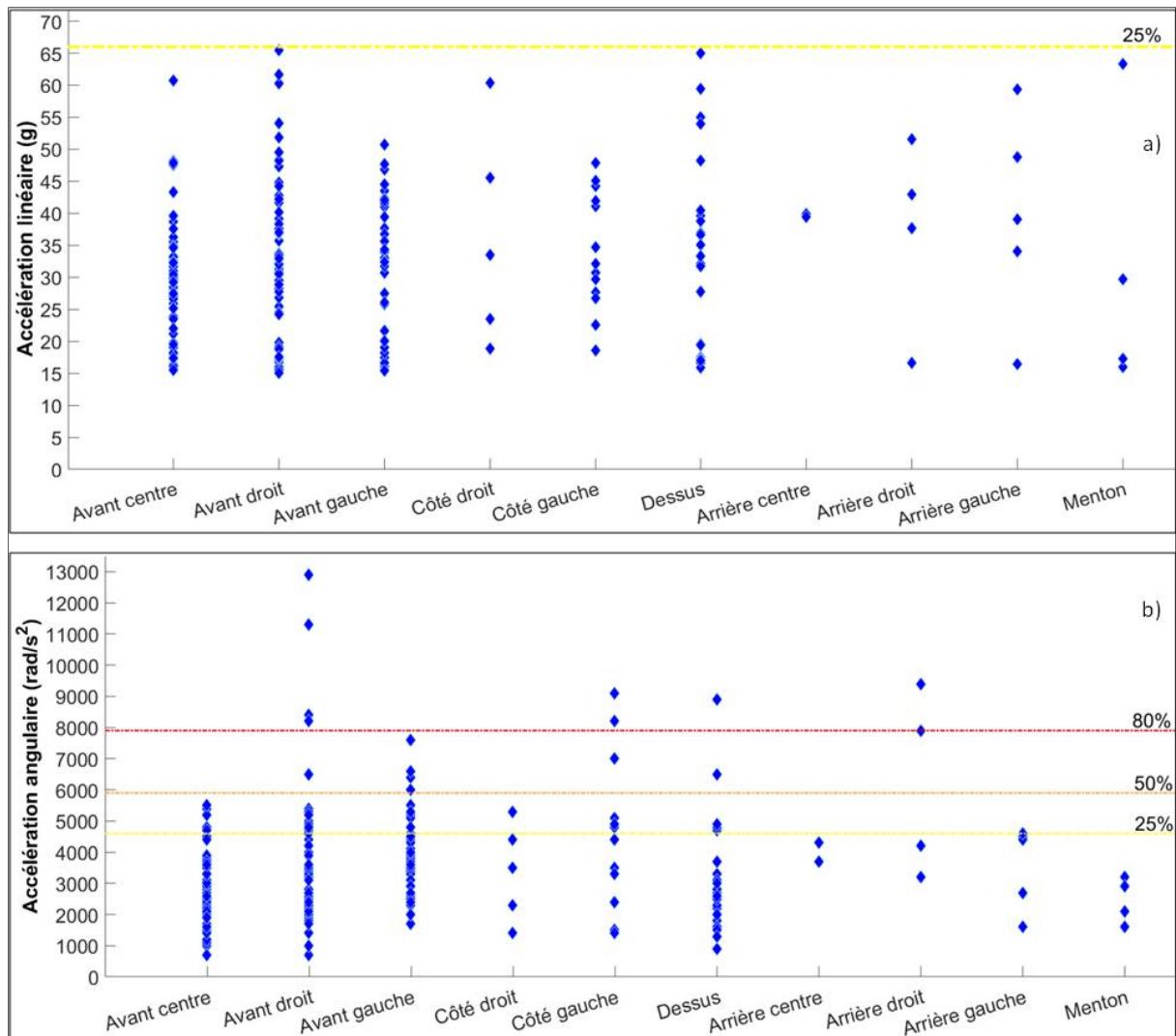


Figure 4.17 Accélérations des techniques de tête en fonction du mouvement de la tête des joueuses a) linéaires (g) et b) angulaires (rad/s^2)

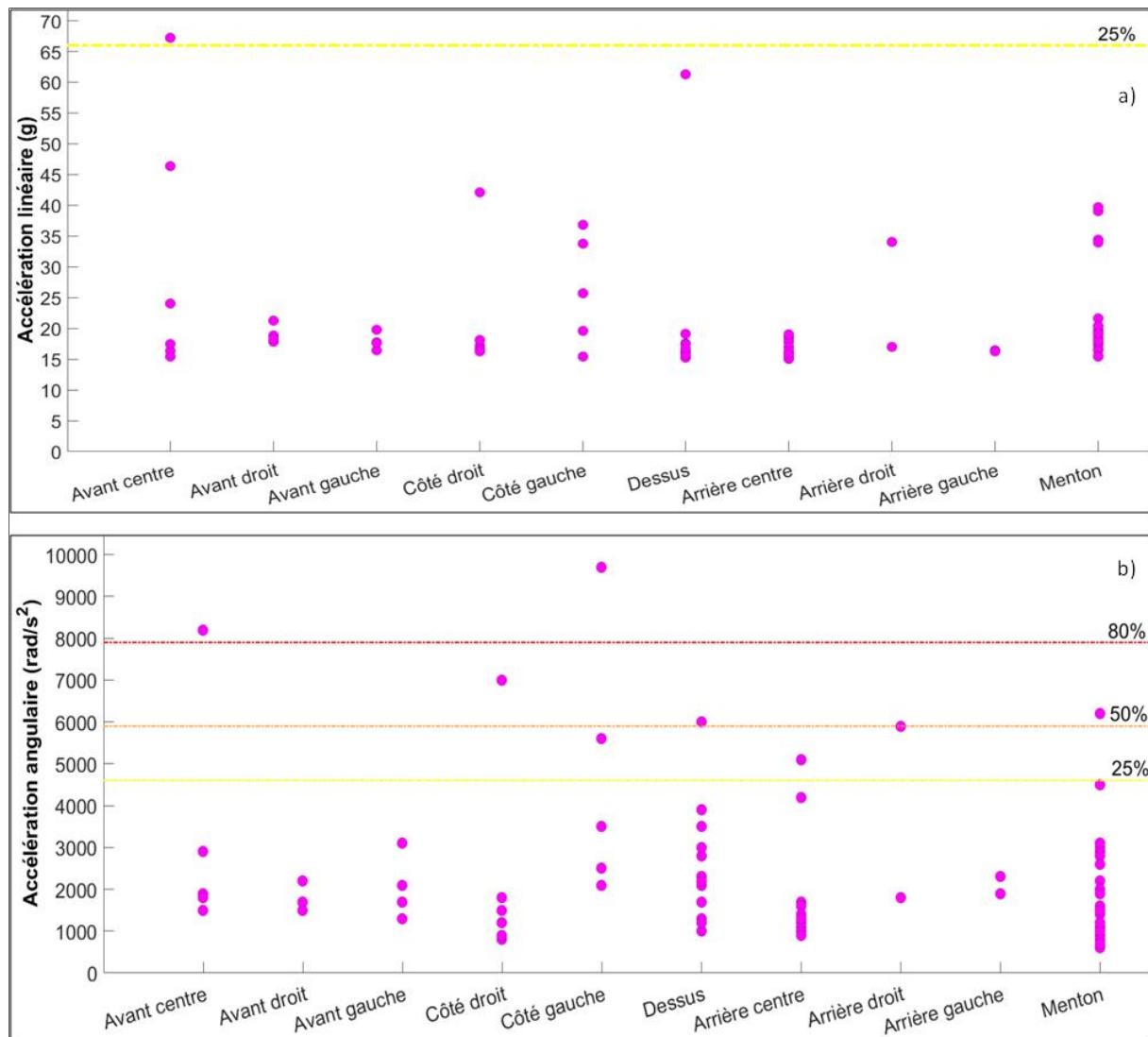


Figure 4.18 Accélérations des impacts involontaires en fonction du mouvement de la tête des joueuses a) linéaires (g) b) angulaires (rad/s²)

Tableau 4.27 Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Zhang, Yang et King (2004) lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

Seuils de risque	Techniques de tête		Impacts involontaires	
	Accélération linéaire	Accélération angulaire	Accélération linéaire	Accélération angulaire
25 %	-	5 avant centre 9 avant droit 7 avant gauche 1 côté droit 3 côté gauche 3 dessus 1 arrière gauche	1 avant centre	1 côté gauche 1 arrière centre
50 %	-	1 avant droit 4 avant gauche 1 côté gauche 1 dessus	-	1 côté droit 1 dessus 1 arrière droit 1 menton
80 %	-	4 avant droit 2 côté gauche 1 dessus 2 arrière droit	-	1 avant centre 1 côté gauche

Tableau 4.28 Nombres des mouvements de la tête des techniques de tête et des impacts involontaires ayant franchi le critère de Rowson et al. (2012) lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne

Seuils de risque	Techniques de tête	Impacts involontaires
10 %	13 avant gauche 2 côté gauche	1 menton 1 côté droit
25 %	1 côté gauche 1 arrière droit	-
50 %	1 côté gauche 2 avant droit 1 arrière droit	1 avant centre 1 côté gauche
75 %	1 avant droit	-
90 %	-	-

4.3 Évaluation des facteurs d'influence sur la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires

Cette section présente l'influence du temps de jeu, de la période de jeu, du rôle et de la position du participant sur le terrain. Elle présente aussi l'influence des facteurs reliés aux participants et ceux reliés à l'environnement. Cette section est conclue par la présentation des régressions ayant permis d'identifier les facteurs qui ont eu le plus d'influence sur les fréquences des techniques de tête et les fréquences des impacts involontaires de même que les amplitudes des accélérations de la tête engendrées par les techniques de tête.

4.3.1 Fréquence en fonction du temps de jeu

En moyenne pour les entraînements et pour les matchs de compétition, la fréquence des activations des bandeaux instrumentés était de 1,7 par 60 minutes de jeu pour les joueurs (écart-type de 2,5 par 60 minutes de jeu). Lors des entraînements, la fréquence des activations des bandeaux instrumentés était en moyenne de 0,8 par 60 minutes de jeu et lors des matchs de compétition de 2,7 par 60 minutes de jeu, tel que présenté au Tableau 4.29. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés lors des matchs de compétition a été significativement plus importante ($p = 0,01$) que la fréquence lors des entraînements.

Tableau 4.29 Fréquence moyenne (écart-type) des techniques de tête et des impacts involontaires par 60 minutes de jeu selon le type de séance d'acquisition chez les joueurs

Séance d'acquisition	Techniques de tête	Impacts involontaires	Activations des bandeaux
Entraînements	0,2 (0,25)	1,4 (1,9)	0,8 (1,5)
Matchs de compétition	1,7 (1,1)	3,6 (4,1)	2,7 (3,1)

Lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne, la fréquence d'activations des bandeaux instrumentés était en moyenne de 1,0 par 60 minutes de jeu pour

les joueuses (écart-type de 1,1 par 60 minutes de jeu). Pour les matchs de compétition de la saison d'été, la fréquence d'activations des bandeaux instrumentés était en moyenne de 0,7 par 60 minutes de jeu et pour les matchs de compétition de la saison d'automne de 1,4 par 60 minutes de jeu, tel que présenté au Tableau 4.30. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés lors de la saison d'automne a été significative plus importante ($p = 0,003$) que la fréquence lors de la saison d'été.

Tableau 4.30 Fréquence moyenne (écart-type) des techniques de tête et des impacts involontaires par 60 minutes de jeu selon le type de séance d'acquisition chez les joueuses

Séance d'acquisition	Techniques de tête	Impacts involontaires	Activations des bandeaux
Matchs de compétition saison d'été	1,0 (0,7)	0,4 (0,3)	0,7 (0,6)
Matchs de compétition saison d'automne	2,1 (1,6)	0,8 (0,9)	1,4 (1,4)

4.3.2 Influence de la période de jeu

Chez les joueurs, 239 activations des bandeaux instrumentés ont été enregistrées lors des matchs de compétition, dont 104 (43,5 %) lors de la première période de jeu et 132 (55,2 %) lors de la deuxième période de jeu, tel que présenté au Tableau 4.31. Trois activations n'ont pas été classées, car ils sont survenus lors d'un second échauffement dirigé par l'entraîneur au cours d'un match de compétition. Les activations des bandeaux instrumentés lors de la deuxième période de jeu n'ont pas été significativement plus élevées ($p = 0,17$) que les activations lors de la première période de jeu.

Tableau 4.31 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la période de jeu pour les joueurs

Période de jeu	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
1	35	69	104
2	57	75	132
Total	92	144	236

Chez les joueuses, 139 activations des bandeaux instrumentés ont été enregistrées lors des matchs de compétition de la saison d'été, dont 80 (57,6 %) lors de la première période de jeu et 59 (42,4 %) lors de la deuxième période de jeu, tel que présenté au Tableau 4.32. Les activations des bandeaux instrumentés lors de la première période de jeu ont été significativement plus élevées ($p = 0,04$) que les activations de la deuxième période de jeu. Lors des matchs de compétition de la saison d'automne, 155 activations des bandeaux instrumentés ont été enregistrées, dont 75 (48,4 %) lors de la première période de jeu et 80 (51,6 %) lors de la deuxième période de jeu, tel que présenté au Tableau 4.32. Les activations des bandeaux instrumentés lors de la deuxième période de jeu n'ont pas été significativement plus importantes ($p = 0,3$) que les activations lors de la première période de jeu.

Tableau 4.32 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la période de jeu pour les joueuses et selon le type de séance d'acquisition

Période de jeu	Matchs de compétition saison d'été			Matchs de compétition saison d'automne		
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
1	57	23	80	50	25	75
2	40	19	59	61	19	80
Total	97	42	139	111	44	155

4.3.3 Influence du rôle et de la position sur le terrain

Pour les 239 activations des bandeaux instrumentés lors de matchs de compétition des joueurs, 44 (18,4 %) activations ont été réalisées par les attaquants, 87 (36,4 %) par les

milieux de terrain et 108 (45,2 %) par les défenseurs, tel que présenté au Tableau 4.33. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés n'a pas été significativement différente entre les attaquants, les milieux de terrain et les défenseurs ($p = 0,2$).

Les joueurs à la position centre ont généré 162 (67,8 %) des 239 activations des bandeaux instrumentés contre 77 (32,2 %) activations pour les joueurs à la position ailier, tel que présenté au Tableau 4.34. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés des joueurs à la position centre a été significativement plus élevée ($p = 0,03$) de la fréquence des joueurs à la position ailier.

Tableau 4.33 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le rôle des joueurs

Rôle	Proportion de joueurs	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
Attaquant	12,5 %	8	36	44
Milieu de terrain	50,0 %	27	60	87
Défenseur	37,5 %	57	51	108
Total	-	92	147	239

Tableau 4.34 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la position des joueurs

Position	Proportion de joueurs	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
Centre	75 %	71	91	162
Ailier	25 %	21	56	77
Total	-	92	147	239

Pour les 139 activations des bandeaux instrumentés lors des matchs de compétition de la saison d'été des joueuses, 39 (28,1 %) activations ont été réalisées par les attaquantes, 41 (29,5 %) par les milieux de terrain et 59 (42,4 %) par les défenseures, tel que présenté au Tableau 4.35. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés n'a pas été significativement différente entre les attaquantes, les milieux de terrain et les défenseures

($p = 0,4$). Pour les 155 activations des bandeaux instrumentés lors de matchs de compétition de la saison d'automne, 20 (12,9 %) activations ont été réalisées par les attaquantes, 58 (37,4 %) par les milieux de terrain et 77 (49,7 %) par les défenseures, tel que présenté au Tableau 4.35. Les activations des bandeaux instrumentés des défenseures ont été significativement plus importantes ($p = 0,001$) que les activations des attaquantes et non significativement différentes des milieux de terrain ($p = 0,27$). Les proportions des joueuses en fonction du rôle sur le terrain sont présentées au Tableau 4.36.

Lors de la saison d'été, les joueuses à la position centre ont généré 48 (34,5 %) des 139 activations des bandeaux instrumentés contre 91 (65,5 %) activations pour les joueuses à la position ailier, tel que présenté au Tableau 4.37. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés des joueuses à la position ailier a été significativement plus importante ($p = 0,002$) que les joueuses à la position centre. Lors de la saison d'automne, les joueuses à la position centre ont généré 81 (52,3 %) des 155 activations des bandeaux instrumentés contre 74 (47,7 %) activations pour les joueuses à la position ailier, tel que présenté au Tableau 4.37. La fréquence des activations des bandeaux instrumentés des joueuses à la position centre n'a pas été significativement plus importante ($p = 0,34$) que les joueuses à la position ailier. Les proportions des joueuses en fonction de la position sur le terrain sont présentées au Tableau 4.38.

Tableau 4.35 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon le rôle des joueuses et selon le type de séance d'acquisition

Rôle	Matchs de compétition saison d'été			Matchs de compétition saison d'automne		
	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
Attaquante	26	13	39	16	4	20
Milieu de terrain	31	10	41	49	9	58
Défenseure	40	19	59	46	31	77
Total	97	42	139	111	44	155

Tableau 4.36 Proportion des joueuses en fonction du rôle sur le terrain et selon le type de séance d'acquisition

	Matchs de compétition saison d'été	Matchs de compétition saison d'automne
Rôle	Proportion de joueuses	Proportion de joueuses
Attaquante	18,8 %	7,6 %
Milieu de terrain	43,8 %	46,2 %
Défenseure	37,4 %	46,2 %

Tableau 4.37 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires selon la position des joueuses et selon le type de séance d'acquisition

	Matchs de compétition saison d'été			Matchs de compétition saison d'automne		
Position	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total	Techniques de tête	Impacts involontaires	Total
Centre	36	12	48	58	23	81
Ailier	61	30	91	53	21	74
Total	97	42	139	111	44	155

Tableau 4.38 Proportion des joueuses en fonction la position sur le terrain et selon le type de séance d'acquisition

	Matchs de compétition saison d'été	Matchs de compétition saison d'automne
Position	Proportion de joueuses	Proportion de joueuses
Centre	31,3 %	38,5 %
Ailier	68,7 %	61,5 %

4.3.4 Influence des facteurs reliés aux participants

Cette sous-section présente les paramètres anthropométriques du segment tête-cou et du paramètre du poids des participants. L'influence de ces paramètres sera par la suite évaluée lors de l'analyse des régressions.

4.3.4.1 Paramètres anthropométriques du segment tête-cou

Les paramètres anthropométriques du segment tête-cou ont été normalisés en fonction de la taille de chaque joueur et de chaque joueuse afin d'identifier le paramètre ayant le plus d'influence sur l'amplitude des accélérations de la tête des participants. Les moyennes et les écarts-types des paramètres anthropométriques normalisés du segment tête-cou des participants sont présentés au Tableau 4.39. La seule différence significative qui a été identifiée correspond à la différence entre la circonférence normalisée du cou des joueurs et des joueuses. La circonférence normalisée du cou des joueurs a été significativement plus élevée ($p = 0,02$) que la circonférence normalisée du cou des joueuses.

Tableau 4.39 Valeurs moyennes et écarts-types des paramètres anthropométriques normalisés du segment tête-cou des participants

Paramètres	Joueurs		Joueuses	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Circonférence	0,212	0,012	0,202	0,011
Largeur	0,074	0,005	0,074	0,006
Hauteur	0,080	0,009	0,085	0,008
Profondeur	0,072	0,007	0,074	0,008

4.3.4.2 Paramètre du poids des participants

L'IMC de chaque joueur et chaque joueuse est présenté à la Figure 4.19, les lignes pointillées représentent les limites proposées par Santé Canada (Santé Canada, 2012). L'IMC moyen pour les joueurs était de 24,6 (écart-type 2,54), ce qui indiquait un poids normal. Un total de trois joueurs a présenté un excès de poids. L'IMC moyen pour les joueuses était de 24,0 (écart-type 2,77), ce qui indiquait aussi un poids normal. Pour les joueuses, six ont présenté un excès de poids. Les IMC des joueurs n'ont pas été significativement plus élevés ($p = 0,32$) que les IMC des joueuses.

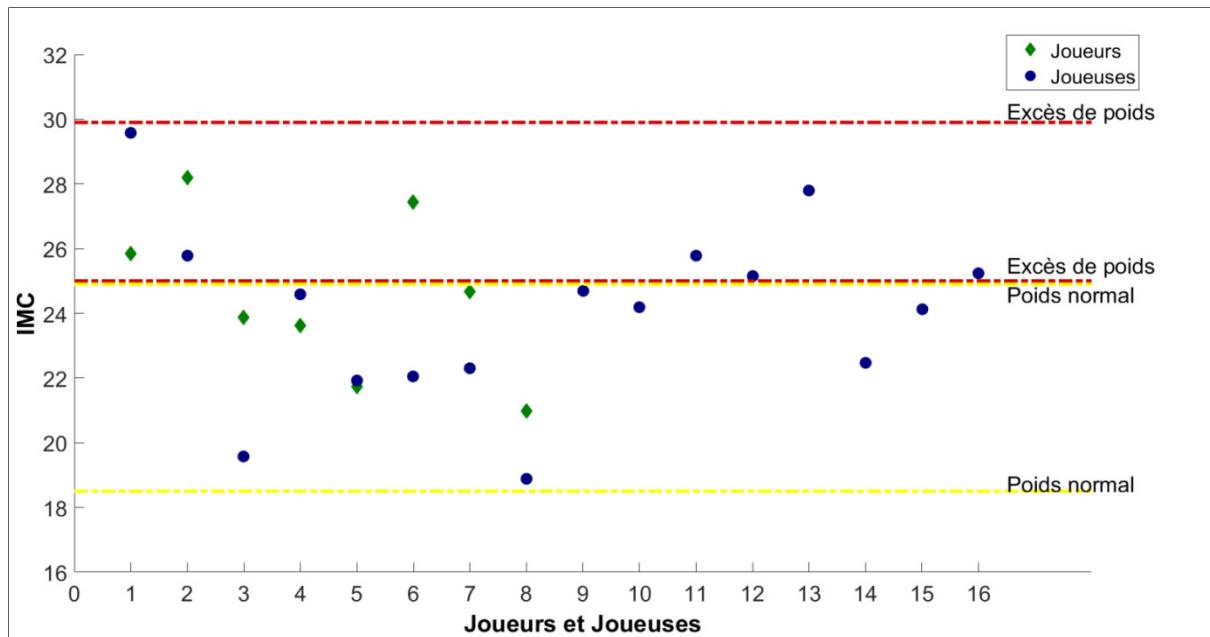


Figure 4.19 IMC des joueurs et des joueuses

4.3.5 Influence de l'environnement

Cette sous-section traite des facteurs environnementaux tels que la température de l'air ambiant, les paramètres physiques des ballons de soccer et le type de terrain.

4.3.5.1 Température de l'air ambiant

Le Tableau 4.40 présente les valeurs minimales, maximales et moyennes des températures de l'air ambiant mesurées lors des séances d'acquisition des joueurs et des joueuses. La pluie n'a pas été présente lors des séances d'acquisition. Les températures moyennes de l'air ambiant mesurées :

- lors des matchs de compétition des joueurs ont été significativement plus élevées que celles mesurées lors des entraînements ($p = 0,002$);

- lors de matchs de compétition de la saison d'été des joueurs ont été significativement plus élevées que celles mesurées lors des matchs de compétition de la saison d'été des joueuses ($p = 0,004$);
- lors de matchs de compétition de la saison d'été des joueuses n'ont pas été significativement différentes de celles mesurées lors de matchs de compétition de la saison d'automne ($p = 0,14$).

Tableau 4.40 Valeurs minimales, maximales et moyennes des températures de l'air ambiant lors des séances d'acquisition pour les joueurs et les joueuses

	Joueurs		Joueuses	
	Entraînements saison d'été	Matchs de compétition saison d'été	Matchs de compétition saison d'été	Matchs de compétition saison d'automne
Minimum	15 °C	12 °C	18 °C	19 °C
Maximum	26 °C	45 °C	25 °C	22 °C
Moyenne	20,8 °C	25,6 °C	21,5 °C	20,4 °C

4.3.5.2 Paramètres physiques des ballons de soccer

Les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres physiques des ballons de soccer qui ont été définis comme la circonférence, la masse et la pression sont regroupées au Tableau 4.41 pour les matchs de compétition des joueurs et au Tableau 4.42 pour les matchs de compétition des joueuses. Les principales observations concernant les paramètres physiques des ballons étaient :

- la limite maximale de la FIFA pour la circonférence du ballon a été dépassée à trois reprises lors des matchs de compétition de la saison d'automne des joueuses;
- la limite minimale de la FIFA pour la masse du ballon n'a pas été respectée à trois reprises lors des matchs de compétition des joueurs;
- la limite minimale de la FIFA pour la pression du ballon n'a pas été respectée :
 - à une reprise lors d'un match de compétition de la saison d'été pour les joueuses;

- à quatre reprises lors des matchs de compétition de la saison d'automne des joueuses.
- chez les joueuses :
 - la circonference moyenne des ballons n'a pas été significativement différente lors de la saison d'été ($p = 0,95$) que lors de la saison d'automne;
 - la masse moyenne des ballons n'a pas été significativement différente lors de la saison d'été ($p = 0,15$) que lors de la saison d'automne;
 - la pression moyenne des ballons n'a pas été significativement différente lors de la saison d'été ($p = 0,12$) que lors de la saison d'automne.

Tableau 4.41 Paramètres physiques des ballons de soccer lors des matchs de compétition des joueurs

	Circonference (mm)	Masse (g)	Pression (bar)
Minimum	680	379	0,60
Maximum	690	436	0,80
Moyenne	688	420	0,68

Tableau 4.42 Paramètres physiques des ballons de soccer lors des matchs de compétition lors de la saison d'été et de la saison d'automne des joueuses

	Matchs de compétition saison d'été			Matchs de compétition saison d'automne		
	Circonference (mm)	Masse (g)	Pression (bar)	Circonference (mm)	Masse (g)	Pression (bar)
Minimum	685	411	0,55	690	434	0,40
Maximum	695	446	0,70	730	439	0,80
Moyenne	691	431	0,63	702	436	0,53

4.3.5.3 Type de terrain

Le nombre de séances d'acquisition des entraînements chez les joueurs a été de sept, de ce nombre six ont été réalisés sur un terrain synthétique et un seul sur un terrain naturel. Tous

les matchs de compétition se sont déroulés sur un terrain synthétique pour les joueurs et les joueuses. Ce facteur n'a donc pas été évalué.

4.4 Régressions

Le Tableau 4.43 regroupe les résultats des régressions simples et des régressions multiples de type pas-à-pas descendant des facteurs qui ont pu influencer la fréquence des techniques de tête, le nombre de techniques de tête supérieures aux seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) et la fréquence des impacts involontaires chez les joueurs et chez les joueuses. À noter que le nombre de techniques de tête qui a été détectée par le critère de Rowson et al. (2012) n'a pas été suffisant pour permettre l'analyse de l'influence des paramètres selon ce critère. Les principales observations concernant les facteurs qui ont eu une influence sur les fréquences étaient :

- pour les techniques de tête :
 - chez les joueurs, les paramètres physiques du ballon ont influencé la fréquence des techniques de tête et le nombre de techniques de tête supérieures aux seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
 - chez les joueuses, les paramètres physiques du ballon ont aussi influencé la fréquence des techniques de tête, mais le rôle et la position des joueuses sur le terrain ont influencé le nombre de techniques de tête supérieures aux seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004);
- pour les impacts involontaires :
 - chez les joueurs, le résultat final du match de compétition a influencé la fréquence des impacts involontaires;
 - chez les joueuses, la position des joueuses a influencé la fréquence des impacts involontaires.

Tableau 4.43 Résultats des régressions simples et des régressions multiples pour la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires

	Fréquence des techniques de tête	Nombre de techniques de tête supérieure aux seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004)	Fréquence des impacts involontaires
Joueurs entraînements saison d'été	Paramètre : Température de l'air ambiant Facteur : 0,09 Valeur - p : 0,015	-	Paramètre : Température de l'air ambiant Facteur : 0,36 Valeur - p : 0,028
Joueurs matchs de compétition saison d'été	Paramètre : Circonférence du ballon Facteur : 117,7 Valeur - p : 0,028	Paramètre : Pression du ballon Facteur : 3,32 Valeur - p : 0,043	Paramètre : Résultat final du match de compétition Facteur : 4,77 Valeur - p : 0,047
Joueuses matchs de compétition saison été	Paramètre : Pression du ballon Facteur : 17,82 Valeur - p : 0,0015	Paramètres : Rôle et position des joueuses Facteur : 3,66 et 2,54 Valeurs - p : 0,04 et 0,029	Paramètre : Position des joueuses Facteur : 3,22 Valeur- p : 0,0012
Joueuses matchs de compétition saison automne	Paramètre : Masse du ballon Facteur : 0,03 Valeur - p : 0,00001	Paramètre : Position des joueuses Facteur : 2,35 Valeur - p : 0,0004	Paramètre : Température de l'air ambiant Facteur : 0,27 Valeur - p : 0,018

Le Tableau 4.44 présente les résultats des régressions multiples de type pas-à-pas descendant pour l'amplitude des accélérations linéaires, des accélérations angulaires et des accélérations angulaires supérieures aux seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004). À noter que le nombre d'accélérations linéaires dépassant les seuils du critère de Zhang, Yang et King (2004) n'a pas permis l'analyse des paramètres selon ce critère. Les principales observations concernant les facteurs qui ont eu une influence sur les amplitudes des accélérations étaient :

- pour les amplitudes des accélérations linéaires :
 - chez les joueurs et chez les joueuses, la circonférence du cou normalisée à la taille du participant a eu une influence importante sur les accélérations linéaires;
- pour les amplitudes des accélérations angulaires :
 - chez les joueurs, la largeur normalisée du cou a eu le plus d'influence sur les accélérations angulaires des impacts involontaires;
 - chez les joueuses, la circonférence du cou normalisé des joueuses a eu une influence importante sur les accélérations angulaires;
 - chez les joueurs et chez les joueuses, la circonférence du cou normalisé du participant a eu le plus d'influence sur les accélérations angulaires dépassant les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004).

Tableau 4.44 Résultats des régressions multiples pour les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires des techniques de tête

	Accélérations linéaires	Accélérations angulaires	Accélérations angulaires supérieures aux seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004)
Joueurs entraînements saison d'été	Paramètre : Mouvement de la tête Facteur : 19,5 Valeur - p : < 0,05	Paramètre : Largeur du cou normalisé Facteur : 22 949 Valeur - p : < 0,05	-
Joueurs matchs de compétition saison d'été	Paramètre : Circonférence du cou normalisé Facteur : 85,6 Valeur - p : < 0,05	Paramètre : Hauteur du cou normalisé Facteur : 17,79 Valeur - p : < 0,05	Paramètre : Circonférence du cou normalisé Facteur : 29,68 Valeur - p : < 0,05
Joueuses matchs de compétition saison été	Paramètre : Circonférence du cou normalisé Facteur : 823 Valeur - p : 0,0085	Paramètre : Circonférence du cou normalisé Facteur : 117 663 Valeur - p : 0,04	Paramètre : Circonférence du cou normalisé Facteur : 27 341 Valeur - p : 0,007
Joueuses matchs de compétition saison automne	Paramètre : Circonférence du cou normalisé Facteur : 1 156 Valeur - p : < 0,05	Paramètre : Circonférence du cou normalisé Facteur : 296 952 Valeur - p : < 0,05	Paramètre : Masse du ballon Facteur : 10,9 Valeur - p : < 0,05

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Ce chapitre présente une discussion générale sur le projet de recherche. Il présente aussi une discussion concernant la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires, l'amplitude des accélérations de la tête des participants et l'évaluation des situations qui ont engendré un risque de TCCL. L'évaluation des facteurs d'influence reliés à la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires est ensuite abordée. Ce chapitre discute aussi des activations des bandeaux instrumentés sous les seuils de risque des TCCL et de la conscientisation au risque de TCCL lors de la pratique du soccer. Enfin, il traite des limites et de la portée de ce projet de recherche.

5.1 Discussion générale sur le projet de recherche

Ce projet de recherche a permis de mesurer la fréquence et les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête de joueurs et de joueuses de soccer, et d'établir le risque de TCCL lors de la pratique du soccer en temps de jeu réel. Trois études (Hanlon et Bir, 2012; Lynall et al., 2016; McCuen et al., 2015) ont été réalisées dans le but d'identifier le risque de TCCL lors de la pratique du soccer en temps de jeu réel. Ces études comportaient toutefois certaines limites. Par exemple, dans l'étude de Hanlon et Bir (2012), le facteur de compétition n'était pas présent, les séances d'acquisition consistant uniquement en des matchs intra-équipe lors d'entraînements. Dans l'étude de McCuen et al. (2015), les entraînements et les matchs de compétition ont été regroupés ensemble, sous forme de session, ce qui ne permettait pas de déterminer l'influence du facteur de compétition et du temps de jeu. Dans l'étude de Lynall et al. (2016), les techniques de tête et les impacts involontaires ont été regroupés en un seul groupe, ce qui ne permettait pas d'étudier l'influence du type d'impacts (volontaires ou involontaires).

Ce projet de recherche s'est démarqué à plusieurs égards. En effet, ce projet a inclus des participants masculins, ce qui n'avait pas été réalisé lors des études de Hanlon et Bir (2012),

McCuen et al. (2015) et Lynall et al. (2016). Il a aussi permis d'étudier, chez des joueuses adultes, l'influence de la restriction de l'espace en évaluant la pratique du soccer sur un terrain pour le jeu 7 contre 7, qui est normalement destiné aux joueurs et aux joueuses de moins de 13 ans. Également, ce projet de recherche a été le premier à comparer le risque de TCCL chez des joueurs et des joueuses de soccer selon deux seuils de risque différents. Il a permis d'évaluer l'influence de plusieurs paramètres tels que le résultat final du match de compétition, la température de l'air ambiant, les propriétés physiques du ballon, les paramètres anthropométriques du segment tête-cou et l'IMC des participants.

L'instrument de mesure (SIM-G) utilisé pour ce projet de recherche avait une erreur quadratique moyenne normalisée maximale de 11,5 % (Triax Technologies inc., 2014). Pour les trois études antérieures, deux instruments de mesure ont été utilisés. L'instrument de mesure (HITS) de l'étude de Hanlon et Bir (2012) présentait des coefficients de corrélations supérieures à 0,92 pour les accélérations linéaires et pour les accélérations angulaires. Cependant, cet instrument de mesure ne peut plus être utilisé pour des études sur les TCCL lors de la pratique du soccer (Hanlon et Bir, 2010). Pour les études de McCuen et al. (2015) et de Lynall et al. (2016) l'instrument de mesure (xPatch) utilisé avait une erreur quadratique moyenne maximale dépassant les 40 %, et ce, pour les accélérations linéaires et pour les accélérations angulaires (McCuen et al., 2015). L'instrument de mesure SIM-G semble donc être le plus approprié pour l'évaluation du risque de TCCL lors de la pratique du soccer.

5.2 Fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires

Chez les joueurs, la fréquence totale des activations des bandeaux instrumentés de même que la fréquence moyenne des activations des bandeaux instrumentés par 60 minutes de jeu ont été significativement plus importantes lors des matchs de compétition que lors des entraînements. Ce résultat était attendu puisque lors des matchs de compétition, le facteur de compétition entre les joueurs était plus important que lors des entraînements. Ce résultat était soutenu par l'étude de Nilsson et al. (2013) qui ont déterminé que les matchs de compétition engendraient un risque de TCCL 78 fois plus élevé que les entraînements. Les impacts

involontaires les plus fréquents lors des entraînements ont été les courses de décélérations, alors qu'un seul contact entre joueurs a été observé. L'inverse s'est produit lors des matchs de compétition, les contacts entre joueurs étant les impacts involontaires les plus fréquents. Ce résultat tend à démontrer que le facteur de compétition était moindre lors des entraînements, les joueurs ne voulant pas blesser leurs coéquipiers avec un contact physique.

Chez les joueurs, les impacts involontaires ont été significativement plus fréquents que les techniques de tête. L'intensité de jeu a pu justifier ce résultat. En effet, l'intensité de jeu peut être caractérisée par l'énergie des joueurs et par la démonstration de leur présence envers l'équipe adverse, tel que rapporté par Rahnama, Reilly et Lees (2002). Elle peut donc se traduire par des contacts entre joueurs et par des courses de grande intensité. Ainsi, chez les joueurs, la fréquence cumulée d'impacts involontaires causée par des contacts entre joueurs, des courses d'accélération et de décélération ainsi que des changements de direction a été supérieure à la fréquence des techniques de tête.

Chez les joueuses, la fréquence totale d'activations des bandeaux instrumentés a été légèrement, mais non significativement plus élevée lors des matchs de compétition de la saison d'automne que lors des matchs de compétition de la saison d'été. Toutefois, lors de la saison d'automne, la fréquence moyenne des activations des bandeaux instrumentés par 60 minutes de jeu a été deux fois plus élevée que la fréquence moyenne par 60 minutes de jeu de la saison d'été, ce qui représentait une différence significative. Cette différence observée entre les deux saisons peut s'expliquer par la restriction de l'espace. En effet, lors de la saison d'automne, les joueuses ont joué sur des terrains adaptés au jeu 7 contre 7 et qui était environ 3 fois plus petit que les terrains de la saison d'été adaptés au jeu 11 contre 11. Aussi, le rapport de l'espace disponible sur le terrain par joueuse entre le jeu 11 contre 11 et le jeu 7 contre 7 était environ de 1,5. La restriction de l'espace a pu favoriser le jeu aérien et augmenter le nombre de techniques de tête, tel que mentionné par Lennox et al. (2006). De plus, le jeu 7 contre 7 était beaucoup plus rapide que le jeu 11 contre 11. Il présentait donc une intensité de jeu plus élevée. Avec moins d'espace sur le terrain pour se déplacer, une augmentation de la fréquence des contacts entre joueuses, des courses de décélération et des

changements de direction a été observée lors de la saison d'automne comparativement à la saison d'été.

Chez les joueuses, lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne, les techniques de tête ont été significativement plus fréquentes que les impacts involontaires. Les techniques de tête ont aussi été la cause la plus fréquente des activations de l'instrument de mesure (HITS) dans l'étude de Hanlon et Bir (2012). Aussi, pour ce projet de recherche, le nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés chez une joueuse lors d'une même séance d'acquisition a été de cinq lors de la saison d'été et de neuf lors de la saison d'automne. Ces résultats sont été légèrement plus élevés que ceux de Hanlon et Bir (2012), qui ont déterminé un maximum de quatre activations chez une joueuse lors d'une même séance. Cette différence peut s'expliquer par l'absence du facteur de compétition dans l'étude de Hanlon et Bir (2012).

Chez les joueuses, les techniques de tête exécutées lors d'une remise en jeu en touche sont passées de 16,5 % lors de la saison d'été à 45,9 % lors de la saison d'automne. Cette augmentation semble avoir été causée par la diminution de l'espace de jeu lors du jeu 7 contre 7. En effet, aucune différence significative n'a été observée pour les autres paramètres d'influence qui aurait pu aussi justifier cette augmentation tels que la température de l'air ambiant et les paramètres physiques des ballons de soccer.

La redirection du ballon a été le type de techniques de tête le plus fréquent lors de la saison d'automne comparativement à la technique de tête de type saut lors de la saison d'été, ce qui était consistant encore une fois avec la restriction de l'espace. En effet, comme mentionné précédemment, cette restriction favorisait le jeu aérien et engendrait davantage de techniques de tête. Aussi, cette restriction obligeait les joueuses à être en constant déplacement afin de s'éloigner des joueuses adverses pour recevoir le ballon. La joueuse qui réalisait la technique de tête devait donc rediriger (mouvement de rotation) le ballon pour le passer à une coéquipière.

Lors des matchs de compétition de la saison d'été et de la saison d'automne, le type d'impacts involontaires le plus fréquent a été le contact entre joueuses, ce qui a aussi été observé par Hanlon et Bir (2012). Lors des saisons d'été et d'automne des joueuses, une moyenne de 7,7 et de 9,7 activations des bandeaux instrumentés se sont respectivement produites par séance d'acquisition. Ces activations ont été légèrement supérieures au nombre moyen d'activations identifié par l'étude de McCuen et al. (2015), avec une moyenne de 4,6. Cependant, le nombre d'activations moyen de McCuen et al. (2015) regroupait les entraînements et les matchs de compétition, ce qui a pu réduire la moyenne observée.

Les impacts involontaires ont été le mécanisme engendrant le plus grand nombre d'accélérations à la tête des joueurs. Chez les joueuses le mécanisme a plutôt été les techniques de tête. Cette différence peut s'expliquer par les paramètres caractérisant les joueurs et les joueuses de ce projet de recherche qui diffèrent au niveau de l'âge moyen (18 ans contre 24 ans) et du niveau de compétition (ligue provinciale AAA contre ligue régionale A), ce qui peut expliquer, au moins en partie, la différence de mécanisme d'activations des bandeaux instrumentés entre les joueurs et les joueuses.

5.3 Amplitude des accélérations linéaires et des accélérations angulaires

Chez les joueurs et les joueuses, lors des matchs de compétition, les amplitudes moyennes des accélérations linéaires, des accélérations angulaires et des vitesses angulaires des techniques de tête ont été significativement plus élevées que les amplitudes moyennes des impacts involontaires. La comparaison entre les types de techniques de tête et les types d'impacts involontaires les plus fréquents permet d'expliquer les différences observées entre les amplitudes moyennes des accélérations et des vitesses angulaires générées par les techniques de tête et par les impacts involontaires. D'abord pour les techniques de tête, le type le plus fréquent a été le saut chez les joueurs et chez les joueuses de la saison d'été. Lors de la saison d'automne des joueuses, la redirection du ballon a été le type de techniques de tête le plus fréquent. Lors d'un saut, les joueurs et les joueuses se trouvaient dans une position de déséquilibre, ce qui a pu influencer la stabilité de la contraction musculaire lors

du contact avec le ballon. De plus, 35,9 % des sauts chez les joueurs, 43,6 % des sauts lors de la saison d'été chez les joueuses et 29,4 % des sauts lors de la saison d'automne chez les joueuses ont été réalisés lors de la présence d'au moins un joueur adverse ou une joueuse adverse. La présence d'un autre joueur ou d'une autre joueuse adverse impliquait parfois un contact léger entre les joueurs et entre les joueuses, ce qui a pu aussi avoir une influence sur la stabilité du joueur et de la joueuse exécutant la technique de tête. Concernant la redirection du ballon chez les joueuses, cette technique de tête implique un mouvement de rotation de la tête pouvant causer un couple résultant important à la tête, malgré la stabilité des pieds des joueuses au sol. Ensuite pour les impacts involontaires, le contact entre joueurs et le contact entre joueuses ont été les types d'impacts involontaires les plus fréquents lors des matchs de compétition des joueurs et des joueuses lors de la saison d'été et de la saison d'automne. Lors des contacts entre joueurs ou entre joueuses, le joueur ou la joueuse pouvait se stabiliser plus facilement, même en position de déséquilibre, car les pieds étaient directement en contact avec le sol. Alors, les amplitudes des accélérations de la tête générées par les techniques de tête, chez les joueurs et chez les joueuses, ont été plus importantes que les amplitudes des impacts involontaires. Et cette différence a pu être expliquée par le type de techniques de tête et le type d'impacts involontaires les plus fréquents.

Chez les joueuses, les amplitudes des accélérations linéaires des techniques de tête ont varié de 15,0g à 65,4g, ce qui s'apparente à celles de Hanlon et Bir (2012) qui ont obtenu un intervalle de 4,5g à 63g. Les amplitudes des accélérations angulaires des techniques de tête ont pour leur part varié de 700 rad/s² à 12 900 rad/s², ce qui représente un intervalle plus élevé que celui obtenu par Hanlon et Bir (2012) avec des accélérations angulaires variant de 179,5 rad/s² à 8 869 rad/s².

Pour ce projet de recherche, les amplitudes des accélérations linéaires et des accélérations angulaires lors d'impacts involontaires ont varié de 15,0g à 67,3g et de 600 rad/s² à 9 700 rad/s². Ces amplitudes ont été plus élevées que celles mesurées par Hanlon et Bir (2012) qui ont obtenu des intervalles de 5g à 56,7g pour les accélérations linéaires et de 497,5 rad/s² à 5 179,5 rad/s² pour les accélérations angulaires.

Les amplitudes des accélérations linéaires des activations des bandeaux instrumentés mesurées lors de ce projet de recherche ont été soutenues par Lynall et al. (2016) qui ont obtenu un intervalle de 10g à 66,1g lors des matchs de compétition. Pour les accélérations angulaires, les amplitudes de Lynall et al. (2016) ont été plus élevées que celles mesurées lors de ce projet de recherche avec un intervalle de 317,95 rad/s² à 15 667,5 rad/s² lors des matchs de compétition. Les écarts observés entre les amplitudes des accélérations mesurées lors de ce projet de recherche et lors des études de Hanlon et Bir (2012) et de Lynall et al. (2016) concernent principalement les amplitudes des accélérations angulaires de la tête. Deux facteurs d'influence ont pu justifier ces écarts. Premièrement, le facteur de compétition qui se traduisait par l'intensité de jeu était différent dans chacune des études. Pour ce projet de recherche, les joueuses ont participé à des matchs de compétition dans la ligue régionale A, ce qui correspondait à des matchs plus compétitifs que les matchs intra-équipe réalisés lors des séances d'entraînement de l'étude de Hanlon et Bir (2012). À l'inverse, les joueuses de l'étude de Lynall et al. (2016) ont participé à des matchs de compétition dans la ligue universitaire américaine en première division, ce qui correspondait à des matchs plus compétitifs que les matchs de compétition de la ligue régionale A. C'est pourquoi les amplitudes des accélérations angulaires ont été plus élevées pour ce projet de recherche comparativement à celles mesurées par Hanlon et Bir (2012), mais moindre comparativement à celles mesurées par Lynall et al. (2016). Deuxièmement, l'âge était différent dans chacune des études. En effet, les joueuses de ce projet de recherche étaient âgées de 24,1 ± 1,4 ans, alors que les joueuses de Hanlon et Bir (2012) étaient âgées de 13 et 14 ans et les joueuses de Lynall et al. (2016) de 19,1 ± 0,1 ans. Par ailleurs, la variation du développement musculaire en fonction de l'âge, pourrait expliquer que les écarts observés étaient seulement reliés aux amplitudes des accélérations angulaires qui nécessitent une plus grande stabilisation musculaire comparativement aux accélérations linéaires.

Au CHAPITRE 2, deux hypothèses ont été émises. La première était la suivante : il est attendu que les amplitudes des accélérations linéaires moyennes (H1-1) et des accélérations angulaires moyennes (H1-2) causées par les techniques de tête et par les impacts involontaires mesurées chez les joueuses de soccer soient significativement plus importantes

que celles mesurées chez les joueurs. Les amplitudes des accélérations linéaires moyennes de la tête des joueuses n'ont pas été significativement différentes des amplitudes des accélérations linéaires moyennes de la tête des joueurs. L'hypothèse H1-1 n'a donc pas été confirmée pour les joueuses de ce projet de recherche. Les amplitudes des accélérations angulaires moyennes de la tête des joueurs ont été plus élevées que les amplitudes des accélérations de la tête des joueuses, alors l'hypothèse H1-2 n'a pas été confirmée. L'hypothèse H1 n'a donc pas été confirmée. Le niveau de compétition (ligue) et l'intensité de jeu ont pu en être la cause. En effet, les joueurs évoluaient dans la ligue provinciale AAA dans laquelle l'intensité de jeu était toujours au maximum, car des recruteurs des universités canadiennes et américaines pouvaient être présents lors des matchs de compétition. Quant aux joueuses, elles évoluaient dans la ligue régionale A et la majorité d'entre elles avaient un emploi à temps plein. Au cours du projet de recherche, plusieurs joueuses ont mentionné qu'une blessure comme une blessure à la cheville ou un TCCL pourrait les empêcher de travailler. Ces joueuses ont volontairement choisi de jouer dans une ligue de niveau de compétition et d'intensité de jeu moindre dans le but de réduire leur risque de blessure, ce qui a pu influencer les amplitudes des accélérations de la tête.

5.4 Évaluation des situations présentant un risque de TCCL

Le nombre maximal d'activations des bandeaux instrumentés qui ont franchi les seuils de risque pour un joueur lors d'une même séance d'acquisition a été de deux lors des entraînements et de quatre lors des matchs de compétition. Ce résultat était aussi attendu, car lors des matchs de compétition, le facteur de compétition entre les joueurs était plus important que lors des entraînements. Ces résultats sont soutenu par Gessel et al. (2007) qui ont identifié un taux de TCCL supérieur lors des matchs de compétition que lors des entraînements chez les joueurs de niveau secondaire et de niveau universitaire.

Tel que précisé précédemment, chez les joueurs, la fréquence des impacts involontaires a été supérieure à la fréquence des techniques de tête lors des entraînements et lors des matchs de compétition. Mais, lorsque les critères des seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) et

de Rowson et al. (2012) ont été pris en compte, le nombre des techniques de tête considérées à risque a été équivalent au nombre d'impacts involontaires considérés à risque lors des entraînements et a été supérieur au nombre d'impacts involontaires lors des matchs de compétition. Chez les joueuses, le nombre de techniques de tête était toujours supérieur au nombre d'impacts involontaires après la confrontation des amplitudes des accélérations aux seuils de risque. Les techniques de tête ont donc été le mécanisme qui a généré le plus grand nombre d'accélérations de la tête considérées à risque, selon les deux critères, chez les joueurs et chez les joueuses, et ce, malgré les différences entre les deux populations. Ces résultats ont été supportés par Comstock et al. (2015) et par Marar et al. (2012) qui ont identifié les techniques de tête comme l'activité causant la plus grande proportion des blessures à la tête. Ces résultats ont démontré que les techniques de tête doivent être considérées comme un facteur de risque de TCCL lors de la pratique du soccer, ce qui était en opposition avec les études de Lovell (2004), Colvin et al. (2009) et O’Kane (2016).

La seconde hypothèse émise au CHAPITRE 2 était la suivante : il est attendu que la fréquence des techniques de tête (H2-1) et des impacts involontaires (H2-2) dépassant les seuils de risque lors des matchs de compétition soit plus importante que la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires lors des entraînements. Afin de simplifier l’analyse de l’hypothèse H2-1 et de l’hypothèse H2-2, le Tableau 5.1 a été créé. Ce dernier reprend les informations qui ont été présentées au CHAPITRE 4. Selon les critères de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012), le nombre de techniques de tête qui a franchi les seuils de risque lors des matchs de compétition a été supérieur au nombre lors des entraînements. La conclusion a été la même pour le nombre d’impacts involontaires. Par conséquent, l’hypothèse H2-1 et l’hypothèse H2-2 ont été confirmées pour la population de joueurs de ce projet de recherche.

Tableau 5.1 Comparaison du nombre de techniques de tête et d'impacts involontaires ayant franchi les seuils de risque lors des entraînements et des matchs de compétition des joueurs

	Techniques de tête		Impacts involontaires	
	Entraînements saison d'été	Matchs de compétition saison d'été	Entraînements saison d'été	Matchs de compétition saison d'été
Accélération linéaire Zhang, Yang et King (2004)	1	3	0	2
Accélération angulaire Zhang, Yang et King (2004)	1	33	2	5
Rowson et al. (2012)	1	8	0	2

Les critères de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012) ont été utilisés dans le but d'identifier le type de techniques de tête et le type d'impacts involontaires les plus susceptibles d'engendrer un risque de TCCL. Le type de techniques de tête le plus à risque de causer un TCCL chez les joueurs a aussi été le type de techniques de tête le plus fréquent soit le saut. Chez les joueuses et lors des deux saisons, le type de techniques de tête ayant causé le plus de risque de TCCL a été la redirection du ballon. Ces résultats pourraient être causé par la différence de stabilité du segment tête-cou entre les joueurs et les joueuses, tel que démontré par Tierney et al. (2005) et Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008). En effet, chez les joueurs, le saut, qui engendre un déséquilibre et une instabilité de la contraction musculaire, a été le type de techniques de tête le plus fréquent et le plus à risque. Cependant, chez les joueuses, le saut et la redirection du ballon ont été les deux types de techniques de tête les plus fréquents lors des deux saisons. Mais le type de techniques de tête ayant causé le plus de risque de TCCL a été la redirection du ballon, qui offre généralement une stabilité au sol. Ceci pourrait signifier que même si la redirection du ballon offre une plus grande stabilité que le saut, le mouvement de rotation de la tête semble causer un couple résultant plus important à la tête que l'instabilité générée par le saut.

Concernant le type d'impacts involontaires le contact entre joueurs et le contact entre joueuses ont été identifiés comme les types d'impacts involontaires les plus à risque d'engendrer un TCCL. Ces résultats ont été soutenus par Comstock et al. (2015) qui ont obtenu ces mêmes résultats chez les joueurs et les joueuses de niveau secondaire et de niveau universitaire.

Les critères de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012) ont aussi été utilisé pour identifier les mouvements de la tête qui ont engendré le plus de risque de causer un TCCL chez les joueurs et chez les joueuses. Pour les techniques de tête, le mouvement de la tête qui a engendré le plus de risque de causer un TCCL chez les joueurs et chez les joueuses a été l'avant droit. Lors d'une technique de tête, le contact entre le ballon et la tête se fait généralement au front et à la ligne des cheveux, ce qui correspond à la catégorie avant centre. Mais, lorsque le joueur ou la joueuse souhaitait rediriger le ballon, le contact entre le ballon et la tête devait se faire davantage sur les côtés du front, ce qui a possiblement engendré une rotation de la tête plus importante que lors du contact au front et à la ligne des cheveux. Ce résultat a aussi été soutenu par les types de techniques de tête qui ont engendré le plus de risque de TCCL. En effet, l'instabilité générée par le saut et le mouvement de rotation causé par la redirection du ballon ne permettait pas d'effectuer une technique de tête dite idéale, soit au front et à la ligne des cheveux.

Pour les impacts involontaires, le mouvement de la tête qui a engendré le plus de risque de TCCL a été l'avant gauche chez les joueurs et le côté gauche chez les joueuses. Le type d'impacts involontaires le plus à risque, identifié par le contact entre joueurs et le contact entre joueuses, combiné au mouvement commun de la tête partant de la gauche de la tête ont semblé démontrer que les participants avaient une instabilité musculaire plus importante du côté gauche que les impacts dans le plan frontal (avant centre, arrière centre, menton). Cette justification a été soutenue par Hodgson, Thomas et Khalil (1983) qui ont mentionné que l'accélération angulaire de la tête était plus importante lors d'un impact latéral que lors d'un impact frontal.

Lors de ce projet de recherche, le risque de TCCL a été évalué à l'aide des critères de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012). Afin d'obtenir une comparaison juste entre ces deux critères, seule l'accélération angulaire de Zhang, Yang et King (2004) a été comparé au critère de Rowson et al. (2012). Le critère de Zhang, Yang et King (2004) a été construit pour un laps de temps de spécifique (10 à 30 ms), alors que seule la valeur maximale d'accélération angulaire a été confrontée au critère lors de ce projet de recherche. Cette différence supposait que l'analyse du risque de TCCL au cours de ce projet a été plus conservatrice que l'analyse du risque établi par Zhang, Yang et King (2004). Mais, de manière générale, le critère de Zhang, Yang et King (2004) a été identifié comme un critère conservateur et le critère de Rowson et al. (2012) comme un critère permissif. En effet, le critère de Zhang, Yang et King (2004) a détecté davantage de risque de TCCL que le critère de Rowson et al. (2012). Par exemple, la différence entre le nombre de techniques de tête qui a franchi les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012) a été considérable, et ce, autant chez les joueurs que chez les joueuses. En effet, chez les joueurs, lors des matchs de compétition, l'écart entre le nombre de techniques de tête détecté par les deux critères était de 28 occurrences chez les joueurs, et de 17 et 16 occurrences chez les joueuses lors de la saison d'été et d'automne respectivement. Les écarts observés pourraient être justifiés par les méthodes de construction des seuils de risque. Par exemple, les accélérations angulaires du critère de Rowson et al. (2012) sont légèrement différentes des accélérations angulaires du critère de Zhang, Yang et King (2004), mais la construction du critère de Rowson et al. (2012) impliquait aussi la vitesse angulaire, ce qui a restreint considérablement l'identification du risque de TCCL lors de ce projet de recherche, contrairement au critère de Zhang, Yang et King (2004). La vitesse angulaire permettait de relier avec plus de précision les accélérations angulaires subies à la tête et la tolérance aux blessures, puisqu'une accélération angulaire de grande amplitude peut être tolérée lors d'un court laps de temps (Rowson et al., 2012). Le critère de Rowson et al. (2012) permettrait donc une plus grande probabilité d'un vrai diagnostique de TCCL que le critère de Zhang, Yang et King (2004).

Cette comparaison entre les deux critères a soulevé deux éléments de questionnement. Premièrement, les deux critères ont été établis spécifiquement pour l'évaluation du risque de TCCL lors de la pratique du football et lors de contacts impliquant le port d'un casque de protection. Naunheim et al. (2003) ont expliqué que le casque de football permettait d'atténuer les impacts avec des objets très rigides comme le casque d'un autre joueur ou le sol et que les matériaux souples à l'intérieur du casque de football augmentaient la durée nécessaire du transfert du moment cinétique au crâne, ce qui réduisait les accélérations de la tête lors d'un impact. Comme le soccer ne se pratique pas avec le port d'un casque de protection, les accélérations sont transmises directement à la tête, sans intermédiaire. C'est pourquoi l'amplitude des accélérations pouvant engendrer un risque de TCCL pourrait être moindre au soccer qu'au football. Par conséquent, l'utilisation d'un critère permissif comme le critère de Rowson et al. (2012) limiterait l'identification du risque possible de TCCL. Aussi, les instruments de mesure ont tous des erreurs de mesure, ce qui pourrait avoir une influence sur l'identification du risque possible de TCCL lors de l'utilisation d'un critère permissif pour la pratique du soccer.

Deuxièmement, l'utilisation d'un critère permissif permettrait une plus grande probabilité d'un vrai diagnostique de TCCL, mais les différences d'âge et du genre, les différences anthropométriques du segment tête-cou, les différents niveaux de compétition, l'état physiologique et l'historique de TCCL des joueurs et des joueuses sont des paramètres non compris dans la construction du critère actuel de Rowson et al. (2012). Chaque joueur et chaque joueuse sont différents et l'état général d'un joueur ou d'une joueuse peut varier au cours d'un même match de compétition. Ainsi, le critère de Zhang, Yang et King (2004) a été identifié comme un critère conservateur dans ce projet de recherche, mais avec le peu d'informations actuelles sur les TCCL lors de la pratique du soccer, la simple présence d'un risque de TCCL est suffisant pour suggérer à un joueur ou à une joueuse de consulter un professionnel de la santé lorsque l'accélération de la tête dépasse les seuils de risque du critère de Zhang, Yang et King (2004).

5.5 Facteurs d'influence sur la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires

Chez les joueurs et chez les joueuses, le rôle de défenseur et de défenseure a généré le plus grand nombre d'activations des bandeaux instrumentés. Ces résultats ont été soutenus par Lynall et al. (2016) qui ont aussi déterminé que les défenseures avaient engendré le plus grand nombre d'activations des instruments de mesure (xPatch). De plus, chez les joueuses, le rôle de milieu de terrain a aussi engendré plus d'activations des bandeaux instrumentés que les attaquantes, ce qui a aussi été observé par Lynall et al. (2016).

Concernant la position des joueurs, les joueurs à la position centre ont généré deux fois plus d'activations des bandeaux instrumentés que les joueurs à la position ailier. Toutefois, ce résultat a pu être influencé par la proportion plus importante (75 %) de joueurs qui évoluaient à la position centre. Lors de la saison d'été, les joueuses à la position ailier ont généré près de deux fois plus d'activations des bandeaux instrumentés que les joueuses à la position centre. Ce résultat a pu être influencé par la plus grande proportion de joueuses qui évoluaient à la position ailier (68,7 %). Lynall et al. (2016) ont aussi observé un plus grand nombre d'activations des instruments de mesure (xPatch) chez les joueuses à la position ailier que les joueuses à la position centre. Lors de la saison d'automne, les joueuses à la position centre ont généré plus d'activations des bandeaux instrumentés que les joueuses à la position ailier, et ce, même si seulement 38,5 % des joueuses évoluaient à cette position. La position des joueuses qui a généré le plus d'activations n'a pas été la même lors de la saison d'été et lors de la saison d'automne. Ce résultat pourrait être expliqué par la différence entre le style de jeu lors du jeu 11 contre 11 et du jeu 7 contre 7. D'abord, lors du jeu 11 contre 11, les joueuses avaient de l'espace pour faire des passes sur les côtés du terrain et des changements d'ailes définis par le botté du ballon d'un côté à l'autre du terrain de soccer de manière diagonale. Alors, lors de la saison d'été, les joueuses à la position ailier ont été plus sollicitées que les joueuses à la position centre, augmentant ainsi la probabilité d'activer les bandeaux instrumentés. Ensuite, lors du jeu 7 contre 7, le jeu était beaucoup plus rapide que le jeu 11 contre 11, puisque les joueuses avaient environ 3 fois moins d'espace sur le terrain pour effectuer des passes sur les côtés ou des changements d'ailes. Ainsi, lors de la saison

d'automne, les joueuses à la position centre étaient plus sollicitées, puisqu'elles permettaient d'effectuer les changements d'ailes plus rapides, ce qui a pu augmenter les activations des bandeaux instrumentés.

L'analyse des régressions a permis d'identifier les paramètres des ballons de soccer comme les facteurs ayant eu le plus d'influence sur la fréquence des techniques de tête, et ce, autant chez les joueurs que chez les joueuses. Le paramètre de la circonférence du ballon a été le paramètre avec la plus grande valeur du facteur, ce qui a semblé indiquer que ce paramètre devrait être vérifié davantage par les arbitres lors des matchs de compétition. Le rôle et la position des joueuses ont aussi été deux facteurs d'influence concernant le nombre de techniques de tête dépassant les seuils de risque et la fréquence des impacts involontaires chez les joueuses. Chez les joueurs, le résultat final du match de compétition a été le paramètre avec le plus grand facteur lors des impacts involontaires. Par conséquent, le résultat final du match de compétition identifié comme paramètre ayant le plus d'influence chez les joueurs lors des impacts involontaires a confirmé que l'intensité de jeu était plus importante chez les joueurs que chez les joueuses.

La température de l'air ambiant a eu peu d'influence sur la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires. Cependant, des températures de 45 °C ont été mesurées, ce qui représentait un risque de déshydratation. En effet, Reilly (1997) ont mesuré une perte d'eau d'environ 3 % de la masse corporelle à une température de 33 °C et une humidité relative de 40 % ainsi qu'à une température de 26,3 °C et une humidité relative de 78 %. Lors du match de compétition joué à une température de 45 °C, les arbitres n'ont pas imposé de pauses d'eau, tel que suggéré par la Fédération de soccer du Québec (2016) lors de température élevée. Aussi, lors de ce match de compétition, le nombre d'impacts involontaires observé a été le plus élevé avec 34 impacts involontaires.

L'analyse des régressions a aussi permis d'identifier les paramètres anthropométriques du segment tête-cou comme les facteurs ayant eu le plus d'influence sur l'amplitude des accélérations linéaires et des accélérations angulaires des techniques de tête, et ce, autant

chez les joueurs que chez les joueuses. La circonférence du cou normalisée a été le paramètre ayant le plus d'influence sur les amplitudes des accélérations linéaires et accélérations angulaires des techniques de tête et les facteurs les plus élevés ont été observés chez les joueuses. Bien que la circonférence du cou normalisée ait été le seul paramètre significativement plus élevé chez les joueurs que chez les joueuses, ce paramètre semble avoir eu une influence importante pour les joueurs et les joueuses. Ceci suppose que le développement musculaire des muscles du cou et du dos, tels que les sternocléidomastoïdiens et les trapèzes, des joueurs et des joueuses de ce projet de recherche n'était peut-être pas adéquat.

5.6 Activations des bandeaux instrumentés sous les seuils de risque de TCCL

Les critères des seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012) ont permis d'identifier le risque de TCCL en fonction des amplitudes des accélérations subies à la tête de joueurs et de joueuses de soccer. Par contre, qu'arrive-t-il lorsqu'un joueur ou une joueuse subit un nombre important d'activations des bandeaux instrumentés sous les seuils de risque de TCCL lors d'un entraînement ou d'un match de compétition, tel que constaté au cours de ce projet de recherche? Par exemple, un joueur a activé le bandeau instrumenté à 14 reprises lors d'un entraînement de 60 minutes. Ce même joueur a activé le bandeau instrumenté à 22 reprises lors d'une période de jeu de 45 minutes lors d'un match de compétition. Les critères actuels n'ont pas permis de considérer la fréquence d'activations des bandeaux lors d'un court laps de temps, tel qu'un entraînement ou un match de compétition, comme un facteur de risque. Pourtant, plusieurs études telles que Lipton et al. (2013), Meythaler et al. (2001) et Petraglia, Bailes et Day (2015) ont rapporté que des impacts répétitifs sous les seuils de risque de TCCL peuvent engendrer des modifications anatomiques et physiologiques de l'encéphale.

Aussi, aucun diagnostic de TCCL n'a été fait chez les joueuses au cours de ce projet de recherche, mais deux joueuses se sont plaintes d'étourdissements, de maux de tête, de maux de cœur et de sensibilité à la lumière à la suite d'un match de compétition de la saison

d'automne. Chez l'une des joueuses, les symptômes tels que des étourdissements et des maux de tête ont été présents dès la première période de jeu de ce match de compétition. Cette joueuse avait subi un impact involontaire et effectué trois techniques de tête lors de la première période de jeu, dont deux techniques de tête qui ont dépassé les seuils de risque de Zhang, Yang et King (2004). Au cours de la première période de jeu, la joueuse a dû se coucher au sol afin de diminuer les étourdissements, voir Figure 5.1. Mais malgré les conseils de l'entraîneur qui lui a suggéré de rester au banc, la joueuse a décidé de retourner au jeu quelques minutes plus tard. La seconde joueuse a ressenti les symptômes après le match de compétition. Cette joueuse n'a subi aucune activation du bandeau instrumenté lors de la première période de jeu, mais elle a effectué quatre techniques de tête lors de la deuxième période, dont une qui dépassait les seuils de Zhang, Yang et King (2004). Les deux joueuses n'ont pas participé au match de compétition la semaine suivante. Elles ont affirmé que les symptômes ont persisté au cours des deux semaines suivant le match de compétition en question. De plus, ces joueuses ont été identifiées comme les deux joueuses ayant effectué le plus de techniques de tête au cours de ce projet de recherche. Le lien entre les techniques de tête et la présence de symptôme similaires aux TCCL a été soutenu par Janda, Bir et Cheney (2002) qui ont déterminé que l'exécution de techniques de tête causait des symptômes de TCCL chez des joueurs de soccer.

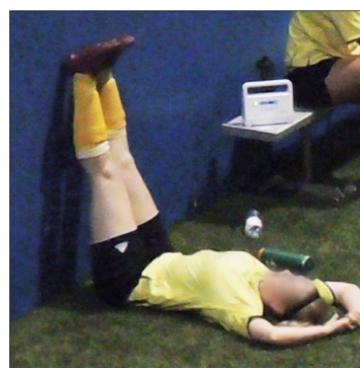


Figure 5.1 Joueuse en période de récupération

5.7 Conscientisation au risque de TCCL

Au cours de ce projet de recherche, les joueurs et les joueuses de même que les entraîneurs ont été informés lorsque les activations des bandeaux instrumentés étaient supérieures aux seuils de risque de 50 % des deux critères. Lors d'une séance d'acquisition, un joueur a été rencontré dans le but de l'informer qu'il était à risque de subir un TCCL. Ce joueur a mentionné qu'il était épuisé par un manque de sommeil causé par des problèmes personnels. Ce joueur a aussi affirmé que cette situation avait une influence sur sa préparation mentale et sa concentration lors des matchs de compétition. Un joueur distrait peut être moins conscient des conséquences associées aux décisions prises lors de situations de jeu. Ainsi, ce joueur a continué à jouer le match de compétition, avec l'accord de son entraîneur, sans rencontrer les physiothérapeutes présents lors du match de compétition. Cette décision démontre un manque de conscientisation auprès des joueurs et des entraîneurs de soccer. Par ailleurs, ce joueur a été le joueur qui a subi le plus d'activation du bandeau instrumenté dépassant les seuils de risque avec un total de 13 activations pour temps de jeu de 6,5 heures.

Lors d'une autre séance d'acquisition, un joueur et son entraîneur ont été informés, à la période de la mi-temps, que le joueur avait subi un impact involontaire ayant engendré une accélération linéaire de la tête de 82,9g, dépassant le seuil de risque de 50 %, et une accélération angulaire de 12 000 rad/s², dépassant le seuil de risque de 80 % du critère de Zhang, Yang et King (2004). Le joueur ne semblait pas présenter de symptômes de TCCL. L'entraîneur et lui ont alors convenu ensemble qu'il retournerait au jeu. Cette décision a été prise sans la consultation des physiothérapeutes présents lors du match de compétition, ce qui démontre encore une fois un manque de conscientisation auprès des joueurs et des entraîneurs de soccer. Au cours de ce match de compétition, sur un total de 90 minutes de jeu, le joueur a subi un total de 12 activations du bandeau instrumenté, de ce nombre il y a eu 8 impacts involontaires dont un dépassait les seuils de risque de TCCL et 4 techniques de tête dont 2 dépassaient les seuils de risque de TCCL.

L'élément le plus marquant de ce projet de recherche a été le manque de conscientisation du risque de TCCL chez les joueurs, les joueuses et même les entraîneurs lors de la pratique du soccer. Tout au long du projet de recherche, les joueurs, les joueuses et les entraîneurs posaient beaucoup de questions sur le sujet et désiraient comprendre quelles situations pouvaient engendrer ce risque et les actions à prendre lorsque ces situations survenaient. Aussi, les entraîneurs ont suivi des formations afin de pouvoir diriger une équipe, mais ces formations ne mettaient pas l'accent sur le risque de TCCL. Les entraîneurs ont mentionné que dans ces formations, l'exemple typique était celui d'un joueur ou d'une joueuse inconscient(e) au sol à la suite d'un impact. Mais les symptômes du TCCL peuvent aussi être des vertiges, de la confusion et des maux de tête, troubles de mémoire et ne sont pas les mêmes selon le joueur ou la joueuse, tels que rapporté par Iverson et al. (2004), Janda, Bir et Cheney (2002) et Parachute - ThinkFirst Canada (s.d.).

5.8 Limites du projet de recherche

Lors de ce projet de recherche, les acquisitions ont été réalisées à l'extérieur lors de la saison d'été. Par conséquent, plusieurs paramètres tels que la température de l'air ambiant et la vitesse du vent ne pouvaient être contrôlés. De plus, la grande demande pour l'accès aux terrains n'a pas permis l'utilisation du même terrain pour tous les entraînements des joueurs. Pour les matchs de compétition, le terrain variait en fonction du statut de receveur ou de visiteur de l'équipe et de la provenance de l'équipe adverse. Par conséquent, les terrains n'ont pas toujours été les mêmes et la qualité de la surface des terrains a pu varier au cours du projet de recherche.

Les principales limites de ce projet de recherche ont été le nombre de joueurs, le nombre de séances d'acquisition et les différences entre les deux populations. Le nombre de joueurs a été une limite, car selon un test de puissance ($\beta = 80\%$, $\alpha = 5\%$), le nombre de participants pour chaque population devait être de 10 et seulement 8 joueurs ont participé au projet de recherche. Le nombre de séances d'acquisition a aussi été considéré comme une limite, car l'acquisition des données tout au long de la saison aurait permis d'obtenir davantage

d'informations sur les paramètres d'influence tels que la température de l'air ambiant et les paramètres physiques des ballons de soccer. Une analyse comparative détaillée entre les joueurs et les joueuses n'a pu être réalisée, car les différences entre les deux populations telles que l'âge (18 ans contre 24 ans) et le niveau de compétition (ligue provinciale AAA contre ligue régionale A) étaient considérables.

5.9 Portée du projet de recherche

À la suite de ce projet de recherche, cinq points clés ont été soulevés pour la réalisation d'études futures. Premièrement, les critères actuels devraient être adaptés spécifiquement pour la pratique du soccer. Ce projet de recherche a confirmé qu'il existe un risque de TCCL lors de la pratique du soccer, comme stipulé par Hanlon et Bir (2012). De ce fait, le soccer devrait avoir un critère composé de seuils de risque construit spécifiquement pour ce sport, car les différences entre le soccer et le football ne sont pas négligeables.

Deuxièmement, ce projet de recherche a permis de démontrer que les types de techniques de tête et les types d'impacts involontaires les plus fréquents et causant le plus de risque de TCCL étaient différents selon l'âge et le niveau de compétition. Même si les séances d'acquisition réalisées dans ce projet de recherche ont contribué à augmenter le nombre de données pour la littérature actuelle, plusieurs nouvelles populations de joueurs et de joueuses du même âge et évoluant dans la même ligue de compétition permettrait d'étudier l'influence du genre sur le risque de TCCL lors de la pratique du soccer.

Troisièmement, les nouvelles populations suggérées seraient des joueurs adolescents et des joueuses adolescentes. Ces populations permettraient l'étude de nouveaux facteurs d'influence tels que l'influence des accélérations sous les seuils de risque de TCCL sur les régulations hormonales qui ont été identifiés lors de TCCL par Acerini et al. (2006) et qui peuvent avoir des répercussions sur le développement normal de ces populations. Un autre facteur d'influence à étudier serait l'évaluation de l'apport d'électrolyte au cours d'un

entraînement et d'un match de compétition pour contrer la fatigue physiologique des joueurs et des joueuses.

Quatrièmement, ce projet de recherche a permis d'identifier le segment tête-cou comme un des facteurs ayant le plus d'influence sur les amplitudes des accélérations subies à la tête, et ce, autant chez les joueurs que chez les joueuses. Par conséquent, le développement d'entraînements musculaires simple ciblant les muscles du cou et du dos pour augmenter la stabilité du segment tête-cou et spécifiquement pour des joueurs et des joueuses de soccer amateurs devrait être une étude prioritaire.

Cinquièmement, tel que mentionné précédemment les critères actuels ont été construits seulement en fonction de l'amplitude des accélérations subie à la tête et ne considèrent pas la fréquence des techniques de tête ou des impacts involontaires lors d'un court laps de temps comme un entraînement ou un match de compétition. Ces seuils de risque ont permis d'identifier le risque immédiat de TCCL à la suite d'un impact générant une grande accélération à la tête. Toutefois, de nouveaux seuils devraient être construits afin d'identifier le risque de TCCL en fonction de la fréquence et des amplitudes des accélérations subies à la tête lors d'un court laps de temps. Ce projet de recherche a démontré la nécessité d'établir de nouveaux critères identifiant le risque de TCCL, car les participants du projet ont subi un nombre important d'accélérations à la tête supérieures à 10g, lors des entraînements et des matchs de compétition, ce qui a aussi été confirmé par Hanlon et Bir (2012) et McCuen et al. (2015). Ces seuils de risque ont aussi été justifiés par Lipton et al. (2013) qui ont précisé qu'un joueur ou une joueuse ayant subi un TCCL à la suite d'un impact unique de grande intensité peut récupérer complètement de cette blessure, car les mécanismes de régénération du tissu nerveux fonctionnent adéquatement lors de ce type d'impact. Ces mécanismes seraient surpassés par la quantité et la fréquence des micros-blessures causées par les impacts répétitifs présentant des accélérations sous les seuils de risque.

CONCLUSION

La pratique du soccer, comme la pratique de tous sports, implique un risque de blessures. Une blessure en particulier est observée dans la majorité des sports et elle est identifiée par le TCCL. Un des mécanismes lésionnels les plus importants en lien avec les TCCL est l'accélération de la tête. Au soccer, l'accélération de la tête est engendrée par des techniques de tête et des impacts involontaires. Or, dans la littérature actuelle, il existe peu de données sur la cinématique de la tête lorsqu'une technique de tête ou un impact involontaire est réalisé lors de situations réelles de jeu. Ce manque de données limite donc la compréhension des mécanismes lésionnels et l'identification du risque de TCCL lors de la pratique de ce sport.

L'objectif de ce projet de recherche était d'évaluer le risque de TCCL lors de la pratique du soccer. Les objectifs spécifiques consistaient à : 1) mesurer les accélérations de la tête de participant lors d'entraînements et de matchs de compétition de soccer; 2) déterminer le risque de TCCL associé à l'amplitude des accélérations mesurées; 3) identifier le type de techniques de tête, le type d'impacts involontaires et les mouvements de la tête susceptibles d'engendrer un risque de TCCL et 4) étudier la relation entre différents facteurs pouvant influencer la fréquence et l'amplitude des accélérations de la tête telles que la période de jeu, le rôle et la position du participant sur le terrain, les paramètres anthropométriques du segment tête-cou, l'IMC des participants, la température de l'air ambiant, les paramètres physiques des ballons de soccer, le résultat final du match de compétition et le type de terrain.

Deux équipes de soccer, une masculine évoluant dans la ligue provinciale AAA et une féminine évoluant dans la ligue régionale A ont participé à ce projet de recherche. Les joueurs et les joueuses de ces équipes ont porté un bandeau instrumenté du SIM-G permettant la mesure de différents paramètres de la tête tels que l'accélération linéaire, l'accélération angulaire, la vitesse angulaire et le mouvement de la tête lors d'un impact supérieur à 10g. Ces acquisitions ont ensuite été confrontées aux critères des seuils de risque de TCCL établis

par Zhang, Yang et King (2004) et par Rowson et al. (2012). Ces acquisitions ont permis d'identifier le type de techniques de tête, le type d'impacts involontaires, les mouvements de la tête et les facteurs d'influence qui ont engendré le plus de risque de TCCL lors de ce projet de recherche.

Ce projet de recherche a apporté plusieurs éléments de nouveauté comme la participation de joueurs masculins, l'étude de facteurs pouvant avoir une influence sur le risque de TCCL tels que le résultat final du match de compétition, la température de l'air ambiant, les propriétés physiques du ballon, les paramètres anthropométriques du segment tête-cou et l'IMC des participants. Ce projet de recherche a aussi permis l'étude de deux styles de jeu, soit le jeu 11 contre 11 et le jeu 7 contre 7 sur une même population.

L'acquisition des accélérations linéaires et des accélérations angulaires de la tête des joueurs a été réalisée lors d'entraînements et de matchs de compétition de la saison d'été. Chez les joueuses, elle a été réalisée uniquement lors de matchs de compétition des saisons d'été et d'automne. Ces acquisitions ont permis d'identifier chez les joueurs une plus grande fréquence d'activation des bandeaux instrumentés lors des matchs de compétition que lors des entraînements. Chez les joueuses, les matchs de compétition de la saison d'automne ont présenté une plus grande fréquence d'activation des bandeaux instrumentés comparativement aux matchs de compétition de la saison d'été. Ces résultats pourraient s'expliquer par le facteur de compétition, plus important lors des matchs de compétition que lors des entraînements chez les joueurs, et par la restriction de l'espace, qui a favorisé le jeu aérien lors de la saison d'automne chez les joueuses.

L'analyse des situations qui ont présenté un risque de TCCL lors de la pratique du soccer a permis d'identifier que les techniques de tête engendraient plus de risque de TCCL que les impacts involontaires, et ce, pour les joueurs et les joueuses de ce projet de recherche. De manière plus spécifique, le type de techniques de tête ayant causé le plus de risque de TCCL a été le saut chez les joueurs et la redirection du ballon chez les joueuses. Concernant les

impacts involontaires, les types d'impacts ayant engendré le plus de risque de TCCL étaient le contact entre joueurs et le contact entre joueuses.

L'analyse des facteurs d'influence sur la fréquence des techniques de tête et des impacts involontaires a permis d'identifier que les joueurs et les joueuses ayant le rôle de défenseur ont généré plus d'activations des bandeaux instrumentés que les rôles d'attaquant et de milieu de terrain. De plus, les paramètres des ballons de soccer, plus précisément la circonférence du ballon a été identifiée comme le facteur ayant eu le plus d'influence sur la fréquence des techniques de tête chez les joueurs et chez les joueuses. Concernant les amplitudes des accélérations de la tête lors des techniques de tête, les paramètres anthropométriques du segment tête-cou, plus précisément la circonférence du cou normalisée à la taille, a été le facteur ayant eu le plus d'influence sur les amplitudes des accélérations de la tête des joueurs et des joueuses.

Ce projet de recherche a aussi permis de soulever plusieurs points clés pour des recherches futures telles que l'adaptation des critères de risque actuels de Zhang, Yang et King (2004) et de Rowson et al. (2012) au soccer et la construction de nouveau critère de risque. Ces critères devraient impliquer non seulement l'amplitude des accélérations subies à la tête, mais aussi la fréquence de ces accélérations lors d'un laps de temps déterminé comme un entraînement ou un match de compétition. Le besoin de nouveaux critères se justifie par le nombre important d'activations des bandeaux instrumentés observé chez les participants, lors des entraînements et lors des matchs de compétition. Également, de nouvelles populations de joueurs et de joueuses du même âge et évoluant dans la même ligue de compétition permettrait d'étudier l'influence du genre sur le risque de TCCL. Les populations suggérées ont été des joueurs adolescents et des joueuses adolescentes afin d'évaluer si les accélérations de la tête sous les seuils de risque de TCCL ont une influence sur les régulations hormonales. Finalement, les paramètres anthropométriques du cou des participants ont été identifiés comme les facteurs ayant le plus d'influence sur le risque de TCCL, ce qui a démontré l'urgence de développer des entraînements musculaires simples, ciblant les muscles du cou et du dos, et adaptés spécifiquement pour des joueurs et des joueuses de soccer amateurs.

RECOMMANDATIONS

Ce projet de recherche a permis de dégager différentes recommandations. Les recommandations spécifiques au projet de recherche sont les suivantes :

- l'acquisition de données chez des joueurs adolescents et des joueuses adolescentes de soccer au cours de plusieurs saisons permettrait d'étudier l'influence du développement hormonal sur les risques de TCCL;
- l'acquisition de données chez des joueurs et des joueuses adultes de soccer au cours de plusieurs saisons permettrait d'étudier l'influence à long terme des accélérations de la tête sous les seuils de risque de TCCL causées par les techniques de tête et les impacts involontaires;
- la participation de nouvelles populations de joueurs et de joueuses de soccer provenant de niveau de compétition différent permettrait d'améliorer les connaissances des mécanismes lésionnels de TCCL spécifique à chacune des populations;
- de nouveaux facteurs d'influence devraient être étudiés tels que l'influence de l'âge, du niveau de compétition, des hormones, de la fatigue physiologique (par la mesure du taux de glycémie) et de la consommation d'électrolyte dans le but d'établir une relation entre ces facteurs et le risque de TCCL lors de la pratique du soccer;
- l'acquisition de données chez des joueurs et des joueuses de soccer portant un protecteur buccal devrait être réalisée en temps de jeu réel. Cette recommandation est justifiée par les études réalisées en laboratoire telles que Takeda et al. (2005) et Narimatsu et al. (2015) qui ont démontré que le port du protecteur buccal réduit l'accélération linéaire de la tête et permet de réduire le risque de TCCL spécifiquement lors de la pratique du soccer;
- une étude impliquant plusieurs associations régionales de soccer de même que des sports-études de niveau secondaire et des équipes universitaires permettrait d'obtenir suffisamment de données sur la cinématique de la tête des joueurs et des joueuses de soccer. En plus, l'évaluation des joueurs et des joueuses selon des examens

neuropsychologiques jumelés à des données d'imageries du cerveau permettrait d'adapter ou de créer des seuils de risque de TCCL spécifiquement pour le soccer;

- ce projet de recherche a analysé les accélérations maximales de chacune des activations des bandeaux instrumentés. Cependant, chaque activation du bandeau instrumenté a aussi généré des données pour tous les paramètres (accélération linéaire, accélération angulaire, vitesse angulaire, etc.) pour les 10 ms avant l'activation du SIM-G à 10g et 52 ms après l'activation du SIM-G à 10g. L'analyse détaillée de chacune des activations du bandeau instrumenté pourrait permettre la construction de nouveaux seuils de risque spécifiquement pour des joueurs âgés de 18 ans et de joueuses âgées de 22 à 26 ans amateurs;
- plusieurs paramètres ont été mesurés au cours de ce projet de recherche. Mais, ce ne sont pas tous les paramètres qui ont été analysés, comme le mouvement de la tête qui était aussi décomposé en angles nommés azimut et élévation. L'analyse complémentaire de ces angles permettrait d'identifier l'influence des angles de la tête sur les amplitudes des accélérations subies à la tête. D'autre part, il serait suggéré d'étudier les angles de la tête dans le but d'établir un facteur de tolérance complémentaire, comme le critère de Rowson et al. (2012), qui a utilisé la composante temporelle en incluant la vitesse angulaire dans la construction du critère. Cette suggestion est justifiée par Hodgson, Thomas et Khalil (1983) qui ont mentionné que l'accélération angulaire de la tête était plus importante lors d'un impact latéral que lors d'un impact frontal.

Des recommandations générales ont aussi été identifiées :

- le nombre de techniques de tête effectuées lors d'une remise en jeu en touche est passé de 16,5 % lors de la saison d'été à 45,9 % lors de la saison d'automne. C'est pourquoi il serait recommandé d'étudier la possibilité de modifier les règlements de jeu afin que la remise en jeu du ballon en touche soit convertie en une passe au sol;
- les observations qui ont été faites au cours de ce projet de recherche ont permis de conclure que les entraîneurs, les joueurs et les joueuses de même que leurs parents ne

sont pas tous conscientisés sur le risque de TCCL lors de la pratique du soccer. Lors des formations des entraîneurs, la Fédération de soccer du Québec et les dirigeants des ligues de soccer devraient insister sur la conscientisation des joueurs et des joueuses aux risques et aux conséquences des TCCL. Aussi, les joueurs, les joueuses et leurs parents devraient être informés et conscientisés sur les symptômes pouvant indiquer un risque de TCCL et les procédures à suivre lors de ces situations. Il est donc recommandé que les entraîneurs proposent et présentent aux joueurs, aux joueuses et à leurs parents, des documents explicatifs sur les risques, les symptômes et les conséquences des TCCL en début de saison;

- la Fédération de soccer du Québec et les dirigeants des ligues de soccer devraient insister sur le fait que le comportement des entraîneurs ne devrait pas influencer les décisions des joueurs et des joueuses. Il est suggéré que le comportement des entraîneurs reste neutre et qu'il est de leur responsabilité de retirer tout joueur ou toute joueuse du terrain si un risque de TCCL est identifié, et ce, peu importe le niveau de compétition;
- l'étude du risque de TCCL lors de la pratique du soccer en est à ces débuts. La fréquence et les amplitudes des accélérations à la tête causées par les techniques de tête et les impacts involontaires ne provoqueront pas les mêmes conséquences chez l'adulte que chez l'enfant. C'est pourquoi, il est fortement recommandé d'étudier la possibilité de modifier les règlements de jeu pour les jeunes joueurs et les jeunes joueuses comme la US Youth Soccer l'a fait, en imposant depuis novembre 2015 une loi interdisant les techniques de tête chez les jeunes de moins de 10 ans.

ANNEXE I

FICHES D'INFORMATIONS SUR LES PARTICIPANTS

Tableau-A I-1 Fiche d'admissibilité du participant

Prénom et Nom				
Blessures actuelles	Cou <input type="checkbox"/>	Dos <input type="checkbox"/>	Autre _____	Aucune <input type="checkbox"/>
	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>		
Traumatisme crânien léger (Commotion cérébrale)	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>		
Plus de 2 saisons comme joueur officiel	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>		
Note : Si un participant est exclu de ce projet de recherche, la fiche complétée sera détruite				

Tableau-A I-2 Fiche d'informations sur le participant

Identifiant (#)	
Genre (F/M)	
Poids (livres)	
Taille (m)	
Âge	
Rôle du joueur (Défense, Milieu, Attaquant)	
Position (Centre, Ailiers)	
Niveau de compétition (local, A, AA, AAA)	
Nombres d'années d'expériences	

Tableau-A I-3 Données anthropométriques du segment tête-cou

Identifiant (#)	
Circonférence (mm)	
Largeur (mm)	
Longueur (mm)	
Profondeur (mm)	

a

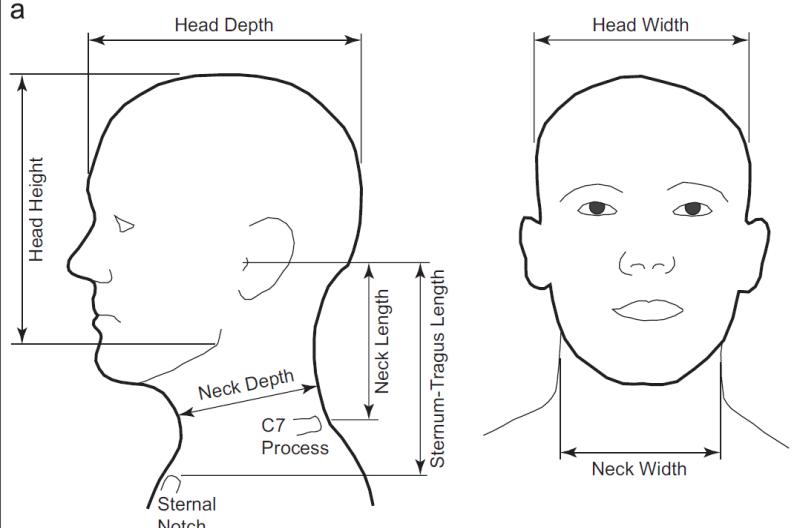


Figure A- I-1 Mesures anthropométrique du segment tête-cou

Tirée de Vasavada, Danaraj et Siegmund (2008)

Tableau-A I-4 Attribution du SIM-G

Identifiant (#)	
Numéro SIM-G	
Taille du bandeau (S, M, L)	

ANNEXE II

FICHES SUR LES SÉANCES D'ACQUISITION

Tableau-A II-1 Fiche d'informations sur la séance d'acquisition

Séance d'acquisition (#)	
Type de séance (Entraînement ou Match de compétition)	
Date de la séance: (JJ, MM, AAAA)	
Température de l'air ambiant (°C)	
Type de terrain (Naturel ou Synthétique)	
Heure de Début	
Heure de Fin	

Tableau-A II-2 Fiche d'informations sur les ballons utilisés lors de la séance d'acquisition

Pression (Bar)		
Masse (g)		
Circonférence (mm)		

Tableau-A II-3 Analyse de la séance d'acquisition

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Acerini, C. L., R. C. Tasker, S. Bellone, G. Bona, C. J. Thompson et M. O. Savage. 2006. « Hypopituitarism in childhood and adolescence following traumatic brain injury: the case for prospective endocrine investigation ». *Eur J Endocrinol*, vol. 155, n° 5, p. 663-9.
- Albayram, O., M. K. Herbert, A. Kondo, C. Y. Tsai, S. Baxley, X. Lian, M. Hansen, X. Z. Zhou et K. P. Lu. 2016. « Function and regulation of tau conformations in the development and treatment of traumatic brain injury and neurodegeneration ». *Cell Biosci*, vol. 6, p. 59.
- Anna Oeur, R., C. Karton et T. Blaine Hoshizaki. 2016. « IMPACT FREQUENCY VALIDATION OF HEAD IMPACT SENSOR TECHNOLOGY FOR USE IN SPORT ». In *34 International Conference of Biomechanics in Sport (2016)* (Japon, 18-22 Juillet 2016), p. 79-83. < <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/6995/6290> >.
- ARSRS. 2016. « RÈGLEMENTS et LOIS ». PDF. < https://www.publicationsports.com/ressources/files/619/Reglements_LSRSS_201657115eca2b004.pdf >. Consulté le 02-26.
- Ashare, A., et M. Ziejewski. 2014. « Mechanism of concussion in sports ». < <https://doi.org/10.1520/STP1552-EB> >. Consulté le 03-21.
- Association canadienne de soccer. 2014. « 2014 Annual report Canada Soccer ». < http://www.canadasoccer.com/files/CanadaSoccer_AnnualReport2014_EN_web.pdf >. Consulté le 01-28.
- Backous, D. D., K. E. Friedl, N. J. Smith, T. J. Parr et W. D. Carpine, Jr. 1988. « Soccer injuries and their relation to physical maturity ». *Am J Dis Child*, vol. 142, n° 8, p. 839-42.
- Barlow, K. M., S. Crawford, A. Stevenson, S. S. Sandhu, F. Belanger et D. Dewey. 2010. « Epidemiology of postconcussion syndrome in pediatric mild traumatic brain injury ». *Pediatrics*, vol. 126, n° 2, p. e374-81.
- Bartsch, A., E. Benzel, V. Miele, D. Morr et V. Prakash. 2012. « Hybrid III anthropomorphic test device (ATD) response to head impacts and potential implications for athletic headgear testing ». *Accid Anal Prev*, vol. 48, p. 285-91.

- Chamard, E., M. Lassonde, L. Henry, J. Tremblay, Y. Boulanger, L. De Beaumont et H. Theoret. 2013. « Neurometabolic and microstructural alterations following a sports-related concussion in female athletes ». *Brain Inj*, vol. 27, n° 9, p. 1038-46.
- Chatelin, S., C. Deck, F. Renard, S. Kremer, C. Heinrich, J. P. Armspach et R. Willinger. 2011. « Computation of axonal elongation in head trauma finite element simulation ». *J Mech Behav Biomed Mater*, vol. 4, n° 8, p. 1905-19.
- Clover Desain. 2014. « Human Anatomy Fundamentals: Flexibility and Joint Limitations ». < <http://www.cloverdesain.com/art-design/human-anatomy-fundamentals-flexibility-and-joint-limitations/> >. Consulté le 01-23.
- Collins, C. L., E. N. Fletcher, S. K. Fields, L. Kluchurosky, M. K. Rohrkemper, R. D. Comstock et R. C. Cantu. 2014. « Neck strength: a protective factor reducing risk for concussion in high school sports ». *J Prim Prev*, vol. 35, n° 5, p. 309-19.
- Colvin, A. C., J. Mullen, M. R. Lovell, R. V. West, M. W. Collins et M. Groh. 2009. « The role of concussion history and gender in recovery from soccer-related concussion ». *Am J Sports Med*, vol. 37, n° 9, p. 1699-704.
- Complete Soccer Guide. 2010. « How to head a soccer ball ». < <http://www.completesoccerguide.com/> >. Consulté le 02-24.
- Comstock, R. D., D. W. Currie, L. A. Pierpoint, J. A. Grubenhoff et S. K. Fields. 2015. « An Evidence-Based Discussion of Heading the Ball and Concussions in High School Soccer ». *JAMA Pediatr*, vol. 169, n° 9, p. 830-7.
- Cusimano, M. D., N. Cho, K. Amin, M. Shirazi, S. R. McFaull, M. T. Do, M. C. Wong et K. Russell. 2013. « Mechanisms of team-sport-related brain injuries in children 5 to 19 years old: opportunities for prevention ». *PLoS One*, vol. 8, n° 3, p. e58868.
- DANA Foundation. 2005. « Voyage dans le cerveau ». < <http://www.futura-sciences.com/magazines/sante/infos/dossiers/d/medecine-voyage-cerveau-525/page/3/> >. Consulté le 20016.
- De Beaumont, L., M. Beauchemin, C. Beaulieu et P. Jolicoeur. 2013. « Long-term attenuated electrophysiological response to errors following multiple sports concussions ». *J Clin Exp Neuropsychol*, vol. 35, n° 6, p. 596-607.
- De Beaumont, L., B. Brisson, M. Lassonde et P. Jolicoeur. 2007. « Long-term electrophysiological changes in athletes with a history of multiple concussions ». *Brain Inj*, vol. 21, n° 6, p. 631-44.
- De Beaumont, L., H. Theoret, D. Mongeon, J. Messier, S. Leclerc, S. Tremblay, D. Ellemborg et M. Lassonde. 2009. « Brain function decline in healthy retired athletes

- who sustained their last sports concussion in early adulthood ». *Brain*, vol. 132, n° Pt 3, p. 695-708.
- De Beaumont, L., S. Tremblay, J. Poirier, M. Lassonde et H. Theoret. 2012. « Altered bidirectional plasticity and reduced implicit motor learning in concussed athletes ». *Cereb Cortex*, vol. 22, n° 1, p. 112-21.
- Delaney, J. S., A. Al-Kashmiri, R. Drummond et J. A. Correa. 2008. « The effect of protective headgear on head injuries and concussions in adolescent football (soccer) players ». *Br J Sports Med*, vol. 42, n° 2, p. 110-5; discussion 115.
- Elbin, R. J., A. Beatty, T. Covassin, P. Schatz, A. Hydeman et A. P. Kontos. 2015. « A preliminary examination of neurocognitive performance and symptoms following a bout of soccer heading in athletes wearing protective soccer headbands ». *Res Sports Med*, vol. 23, n° 2, p. 203-14.
- Fédération de soccer du Québec. 2016. *Règlements: ligue de soccer élite du Québec*.
- FIFA. 2016. « Lois du jeu ». < http://fr.fifa.com/mm/Document/FootballDevelopment/Refereeing/02/79/92/44/Laws_of_the_Game_16-17_French_printview_French.pdf >. Consulté le 03-07.
- Fondation La main à la pâte. 2013. « Le neurone ». < <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/18712/le-neurone> >. Consulté le 02-21.
- Fralick, M., D. Thiruchelvam, H. C. Tien et D. A. Redelmeier. 2016. « Risk of suicide after a concussion ». *CMAJ*.
- Gennarelli, T. A., J. H. Adams et D. I. Graham. 1981. « Acceleration induced head injury in the monkey.I. The model, its mechanical and physiological correlates ». *Acta Neuropathol Suppl*, vol. 7, p. 23-5.
- Gessel, L. M., S. K. Fields, C. L. Collins, R. W. Dick et R. D. Comstock. 2007. « Concussions among United States high school and collegiate athletes ». *J Athl Train*, vol. 42, n° 4, p. 495-503.
- Giannotti, M., B. Al-Sahab, S. McFaull et H. Tamim. 2010. « Epidemiology of acute head injuries in Canadian children and youth soccer players ». *Injury*, vol. 41, n° 9, p. 907-12.
- Giannotti, M., B. Al-Sahab, S. McFaull et H. Tamim. 2011. « Epidemiology of acute soccer injuries in canadian children and youth ». *Pediatr Emerg Care*, vol. 27, n° 2, p. 81-5.
- Gionet, L. 2005. « Guide d'aménagement et d'entretien des terrains de soccer extérieurs ». < <http://www.arsq.qc.ca/assets/documents/gae.pdf> >. Consulté le 14-02.

- Gutierrez, G. M., C. Conte et K. Lightbourne. 2014. « The relationship between impact force, neck strength, and neurocognitive performance in soccer heading in adolescent females ». *Pediatr. Exerc. Sci. Pediatric Exercise Science*, vol. 26, n° 1, p. 33-40.
- Hanlon, E., et C. Bir. 2010. « Validation of a wireless head acceleration measurement system for use in soccer play ». *J Appl Biomech*, vol. 26, n° 4, p. 424-31.
- Hanlon, E. M., et C. A. Bir. 2012. « Real-time head acceleration measurement in girls' youth soccer ». *Med Sci Sports Exerc*, vol. 44, n° 6, p. 1102-8.
- Harves, John. 2015. « Introduction to Soccer Heading ». < <http://coachingamericansoccer.com/introductions-to-skills/soccer-heading/> >. Consulté le 04-03.
- Hassan, Mohd Hasnun Arif, et Zahari Taha. 2015. « Finite Element Analysis of Soccer Heading ». *Procedia Engineering Procedia Engineering*, vol. 112, p. 46-51.
- Henry, L. C., S. Tremblay et L. De Beaumont. 2016. « Long-Term Effects of Sports Concussions: Bridging the Neurocognitive Repercussions of the Injury with the Newest Neuroimaging Data ». *Neuroscientist*.
- Hodgson, V., L. Thomas et T. Khalil. 1983. « The Role of Impact Location in Reversible Cerebral Concussion ». Abstract. < <https://saemobilus.sae.org/content/831618> >. Consulté le 02-17.
- Hootman, J. M., R. Dick et J. Agel. 2007. « Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives ». *J Athl Train*, vol. 42, n° 2, p. 311-9.
- Iverson, G. L., M. Gaetz, M. R. Lovell et M. W. Collins. 2004. « Cumulative effects of concussion in amateur athletes ». *Brain Inj*, vol. 18, n° 5, p. 433-43.
- Janda, D. H., C. A. Bir et A. L. Cheney. 2002. « An evaluation of the cumulative concussive effect of soccer heading in the youth population ». *Inj Control Saf Promot*, vol. 9, n° 1, p. 25-31.
- Karton, C., R. Anna Oeur et T. Blaine Hoshizaki. 2016. « MEASUREMENT ACCURACY OF HEAD IMPACT MONITORING SENSOR IN SPORT ». In *34 International Conference of Biomechanics in Sport (2016)*. (Japon, 18-22 Juillet 2016). < <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/6994/6289> >.
- Larousse Encyclopédie. s.d. « Encéphale ». < <http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/enc%C3%A9phale/12760> >. Consulté le 01-23.

- Lees, A., et L. Nolan. 1998. « The biomechanics of soccer: a review ». *J Sports Sci*, vol. 16, n° 3, p. 211-34.
- Lennox, James W., Janet Rayfield, Bill Steffen et America National Soccer Coaches Association of. 2006. *Soccer skills & drills*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lipton, M. L., N. Kim, M. E. Zimmerman, M. Kim, W. F. Stewart, C. A. Branch et R. B. Lipton. 2013. « Soccer heading is associated with white matter microstructural and cognitive abnormalities ». *Radiology*, vol. 268, n° 3, p. 850-7.
- Lovell, Mark R. (193-207). 2004. *Traumatic brain injury in sports : an international neuropsychological perspective*. Lisse; Exton, PA: Swets & Zeitlinger.
- Lynall, R. C., M. D. Clark, E. E. Grand, J. C. Stucker, A. C. Littleton, A. J. Aguilar, M. A. Petschauer, E. F. Teel et J. P. Mihalik. 2016. « Head Impact Biomechanics in Women's College Soccer ». *Med Sci Sports Exerc*.
- Mansell, J., R. T. Tierney, M. R. Sitler, K. A. Swanik et D. Stearne. 2005. « Resistance training and head-neck segment dynamic stabilization in male and female collegiate soccer players ». *J Athl Train*, vol. 40, n° 4, p. 310-9.
- Marar, M., N. M. McIlvain, S. K. Fields et R. D. Comstock. 2012. « Epidemiology of Concussions Among United States High School Athletes in 20 Sports ». *American Journal of Sports Medicine*, vol. 40, n° 4, p. 747-755.
- Marieb, Elaine Nicpon, Katja Hoehn, Linda Moussakova, René Lachaîne et Jean-Pierre Artigau. 2010. *Anatomie et physiologie humaines*, 4e éd. Saint-Laurent, Québec: Éditions du Renouveau pédagogique.
- McCuen, E., D. Svaldi, K. Breedlove, N. Kraz, B. Cummiskey, E. L. Breedlove, J. Traver, K. F. Desmond, R. E. Hannemann, E. Zanath, A. Guerra, L. Leverenz, T. M. Talavage et E. A. Nauman. 2015. « Collegiate women's soccer players suffer greater cumulative head impacts than their high school counterparts ». *J Biomech*, vol. 48, n° 13, p. 3720-3.
- Mehnert, M. J., T. Agesen et G. A. Malanga. 2005. « "Heading" and neck injuries in soccer: a review of biomechanics and potential long-term effects ». *Pain Physician*, vol. 8, n° 4, p. 391-7.
- Meythaler, J. M., J. D. Peduzzi, E. Eleftheriou et T. A. Novack. 2001. « Current concepts: diffuse axonal injury-associated traumatic brain injury ». *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 82, n° 10, p. 1461-71.

- Narimatsu, K., T. Takeda, K. Nakajima, M. Konno, T. Ozawa et K. Ishigami. 2015. « Effect of clenching with a mouthguard on head acceleration during heading of a soccer ball ». *Gen Dent*, vol. 63, n° 6, p. 41-6.
- Naunheim, R. S., A. Ryden, J. Standeven, G. Genin, L. Lewis, P. Thompson et P. Bayly. 2003. « Does soccer headgear attenuate the impact when heading a soccer ball? ». *Acad Emerg Med*, vol. 10, n° 1, p. 85-90.
- NBC Sports. 2015. « No more heading: US Soccer unveils new concussion protocol for youth soccer ». < <http://soccer.nbcsports.com/2015/11/09/no-more-heading-us-soccer-unveils-new-concussion-protocol-for-youth-soccer/> >. Consulté le 04-03.
- NDLS. 2014. « Le système nerveux : bases neurologiques et cri de la carotte ». < <http://nousdevonslessauver.jimdo.com/2014/11/01/le-syst%C3%A8me-nerveux-bases-neurologiques-et-cri-de-la-carotte/> >. Consulté le 2016.
- NHTSA, United States, National Highway Traffic Safety Administration. 1983. *Head and neck injury criteria : a consensus workshop* (1983). Washington, D.C.: U.S. Dept. of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration : For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O.
- Nilsson, M., M. Hagglund, J. Ekstrand et M. Walden. 2013. « Head and neck injuries in professional soccer ». *Clin J Sport Med*, vol. 23, n° 4, p. 255-60.
- O'Kane, J. W., A. Spieker, M. R. Levy, M. Neradilek, N. L. Polissar et M. A. Schiff. 2014. « Concussion among female middle-school soccer players ». *JAMA Pediatr*, vol. 168, n° 3, p. 258-64.
- O'Kane, John W. 2016. « Is Heading in Youth Soccer Dangerous Play? ». *The Physician and Sportsmedicine*, vol. 44, n° 2, p. 190-194.
- Ommaya, A. K. , W. Goldsmith et L. Thibault. 2002. « Biomechanics and neuropathology of adult and paediatric head injury ». *Br J Neurosurg*, vol. 16, n° 3, p. 220-42.
- Ommaya, A. K., et A. E. Hirsch. 1971. « Tolerances for cerebral concussion from head impact and whiplash in primates ». *BMJ* Journal of Biomechanics, vol. 4, n° 1, p. 13-21.
- Paquette, Claude. s.d. « Traumatisme crânio-cérébral ». < <https://aqnp.ca/documentation/neurologique/le-traumatisme-cranio-cerebral/> >. Consulté le 11-28.
- Parachute - ThinkFirst Canada. s.d. « Q et R commotions pour le public ». < <http://www.parachutecanada.org/thinkfirstcanada> >. Consulté le 01-23.

- Pellman, E. J., D. C. Viano, A. M. Tucker, I. R. Casson et J. F. Waeckerle. 2003. « Concussion in professional football: reconstruction of game impacts and injuries ». *Neurosurgery*, vol. 53, n° 4, p. 799-812.
- Petraglia, A. L, J. E Bailes et A. L Day. 2015. *Handbook of neurological sports medicine concussion and other nervous system injuries in the athlete* (2015). Coll. « Neurological sports medicine ». Champaign, IL: Human Kinetics, xiii, 401 pages p.
- Rahnama, N., T. Reilly et A. Lees. 2002. « Injury risk associated with playing actions during competitive soccer ». *Br J Sports Med*, vol. 36, n° 5, p. 354-9.
- Reilly, T. 1997. « Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue ». *J Sports Sci*, vol. 15, n° 3, p. 257-63.
- Rowson, S., S. M. Duma, J. G. Beckwith, J. J. Chu, R. M. Greenwald, J. J. Crisco, P. G. Brolinson, A. C. Duhaime, T. W. McAllister et A. C. Maerlender. 2012. « Rotational head kinematics in football impacts: an injury risk function for concussion ». *Ann Biomed Eng*, vol. 40, n° 1, p. 1-13.
- Santé Canada. 2012. « Le nomogramme de l'indice de masse corporelle (IMC) ». < http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/weights-poids/guide-lid-adult/bmi_chart_javagraph_imc_java-fra.php >. Consulté le 01-28.
- SCHIRPT, Système canadien hospitalier d'information et de recherche en prévention des traumatismes;. 2010. « Commotions et blessures dans les sept sports d'équipe ». < http://www.parachutecanada.org/telechargez/programmes/actifsetensecurite/Commotions_et_blessures_dans_les_sept_sports_dequipe.pdf >. Consulté le 01-28.
- Shewchenko, N., C. Withnall, M. Keown, R. Gittens et J. Dvorak. 2005a. « Heading in football. Part 1: development of biomechanical methods to investigate head response ». *Br J Sports Med*, vol. 39 Suppl 1, p. i10-25.
- Shewchenko, N., C. Withnall, M. Keown, R. Gittens et J. Dvorak. 2005b. « Heading in football. Part 3: effect of ball properties on head response ». *Br J Sports Med*, vol. 39 Suppl 1, p. i33-9.
- Soper, Taylor. 2015. « This software will help assess potential player concussions at the Super Bowl ». < <http://www.geekwire.com/2015/software-will-help-assess-potential-player-concussions-super-bowl/> >. Consulté le 18-07.
- SRG, Solutions research group consultants Inc.;. 2014. « Massive Competition in Pursuit of the \$5.7 Billion Canadian Youth Sports Market ». < <http://www.srgnet.com/2014/06/10/massive-competition-in-pursuit-of-the-5-7-billion-canadian-youth-sports-market/> >. Consulté le 01-28.

Strauss. 2015. « U.S. Soccer, Resolving Lawsuit, Will Limit Headers for Youth Players ». *The New York Times*. 9 novembre 2015, p. Page B11. < http://www.nytimes.com/2015/11/10/sports/soccer/us-soccer-resolving-lawsuit-will-limit-headers-for-youth-players.html?_r=0 >.

Takeda, T., K. Ishigami, S. Hoshina, T. Ogawa, J. Handa, K. Nakajima, A. Shimada, T. Nakajima et C. W. Regner. 2005. « Can mouthguards prevent mandibular bone fractures and concussions? A laboratory study with an artificial skull model ». *Dent Traumatol*, vol. 21, n° 3, p. 134-40.

Talk Football. 2016. « Improving Your Football Skills ». < <http://www.talkfootball.co.uk/guides.html> >. Consulté le 02-24.

TERMIUM Plus. 2016. « Plasticité synaptique ». < http://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-eng.html?lang=eng&i=1&srctxt=SYNAPTIC+PLASTICITY&index=alt&codom2nd_wet=1#resultrecs >. Consulté le 12-28.

Theriault, M., L. De Beaumont, N. Gosselin, M. Filipinni et M. Lassonde. 2009. « Electrophysiological abnormalities in well functioning multiple concussed athletes ». *Brain Inj*, vol. 23, n° 11, p. 899-906.

Theriault, M., L. De Beaumont, S. Tremblay, M. Lassonde et P. Jolicoeur. 2011. « Cumulative effects of concussions in athletes revealed by electrophysiological abnormalities on visual working memory ». *J Clin Exp Neuropsychol*, vol. 33, n° 1, p. 30-41.

Tierney, R. T., M. Higgins, S. V. Caswell, J. Brady, K. McHardy, J. B. Driban et K. Darvish. 2008. « Sex differences in head acceleration during heading while wearing soccer headgear ». *J Athl Train*, vol. 43, n° 6, p. 578-84.

Tierney, R. T., M. R. Sitler, C. B. Swanik, K. A. Swanik, M. Higgins et J. Torg. 2005. « Gender differences in head-neck segment dynamic stabilization during head acceleration ». *Med Sci Sports Exerc*, vol. 37, n° 2, p. 272-9.

Tremblay, S., L. C. Henry, C. Bedetti, C. Larson-Dupuis, J. F. Gagnon, A. C. Evans, H. Theoret, M. Lassonde et L. De Beaumont. 2014. « Diffuse white matter tract abnormalities in clinically normal ageing retired athletes with a history of sports-related concussions ». *Brain*, vol. 137, n° Pt 11, p. 2997-3011.

Tremblay, S., Y. Iturria-Medina, J. M. Mateos-Perez, A. C. Evans et L. De Beaumont. 2017. « Defining a multimodal signature of remote sports concussions ». *Eur J Neurosci*.

Triax Technologies inc. 2014. *Laboratory Validation of the SIM-G Head Impact Sensor*. 7 p.

Triax Technologies inc. 2016. « SIM-G ». <<https://www.triaxtec.com/sim-g/>>. Consulté le 02-06.

Turfgrass Resource Center. 2006. *Natural grass and artificial turf : separating myths and facts*. East Dundee, IL: Turfgrass Resource Center.

US Youth soccer. 2012. « Rules of the Game: From the Policy on Players and Playing Rules of the United States Youth Soccer Association ». <<http://www.usyouthsoccer.org/coaches/PolicyonPlayersandPlayingRules/>>. Consulté le 02-26.

US Youth soccer. 2014. « Membership statistics ». <http://www.usyouthsoccer.org/media_kit/keystatistics/>. Consulté le 01-28.

Vasavada, A. N., J. Danaraj et G. P. Siegmund. 2008. « Head and neck anthropometry, vertebral geometry and neck strength in height-matched men and women ». *J Biomech*, vol. 41, n° 1, p. 114-21.

Wennberg, R. A., et C. H. Tator. 2008. « Concussion Incidence and Time Lost from Play in the NHL During the Past Ten Years ». *CANADIAN JOURNAL OF NEUROLOGICAL SCIENCES*, vol. 35, n° 5, p. 647-651.

Whiting, William Charles, et Ronald F. Zernicke. 2008. *Biomechanics of musculoskeletal injury*. Champaign: Human kinetics.

Wiart, N., J. Kelley, D. James et T. Allen. 2011. « Effect of temperature on the dynamic properties of soccer balls ». *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, vol. 225, n° 4, p. 189-198.

Zhang, L., K. H. Yang et A. I. King. 2001. « Comparison of brain responses between frontal and lateral impacts by finite element modeling ». *J Neurotrauma*, vol. 18, n° 1, p. 21-30.

Zhang, L., K. H. Yang et A. I. King. 2004. « A proposed injury threshold for mild traumatic brain injury ». *J Biomech Eng*, vol. 126, n° 2, p. 226-36.

