

UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE

ÉCOLE DOCTORALE : Sciences du numérique et de l'ingénieur (SNI) N° 620

Unité de Recherche PSMS "Performance, Santé, Métrologie, Société" - EA 7507

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE

Discipline : Sciences et techniques des activités physiques et sportives

Spécialité : Biomécanique et physiologie du mouvement

Présentée et soutenue publiquement par

HASSEN HAKIM

Le 24 septembre 2020

CircaPerf : Optimisation Biomécanique et Neuromusculaire de la Performance et Prévention de la Santé des Artistes de Cirque

Thèse dirigée par

Pr. William BERTUCCI

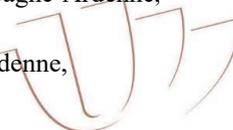
Co-Encadrants :

Dr. Frédéric PUEL

Dr. Olivier NOCENT

JURY

Mme Elisabeth ROSNET ,	Professeur, UFR STAPS Université de Reims Champagne-Ardenne, Président
M. Nicolas FORESTIER ,	Professeur, UFR STAPS Université de Savoie Mont Blanc, Rapporteur
M. Robin BAURES ,	Maître de Conférences HDR, F2SMH Université Paul Sabatier Toulouse III, Rapporteur
M. Gérôme GAUCHARD ,	Professeur, UFR STAPS Université de Lorraine, Examineur
M. Julien DUCLAY ,	Maître de Conférences HDR, F2SMH Université Paul Sabatier Toulouse III, Examineur
M. William BERTUCCI ,	Professeur, UFR STAPS Université de Reims Champagne-Ardenne, Directeur de thèse
M. Frédéric PUEL ,	Maître de Conférences, UFR STAPS Université de Reims Champagne-Ardenne, Co-Encadrant
M. Olivier NOCENT ,	Maître de Conférences, IUT Université de Reims Champagne-Ardenne, Co-Encadrant



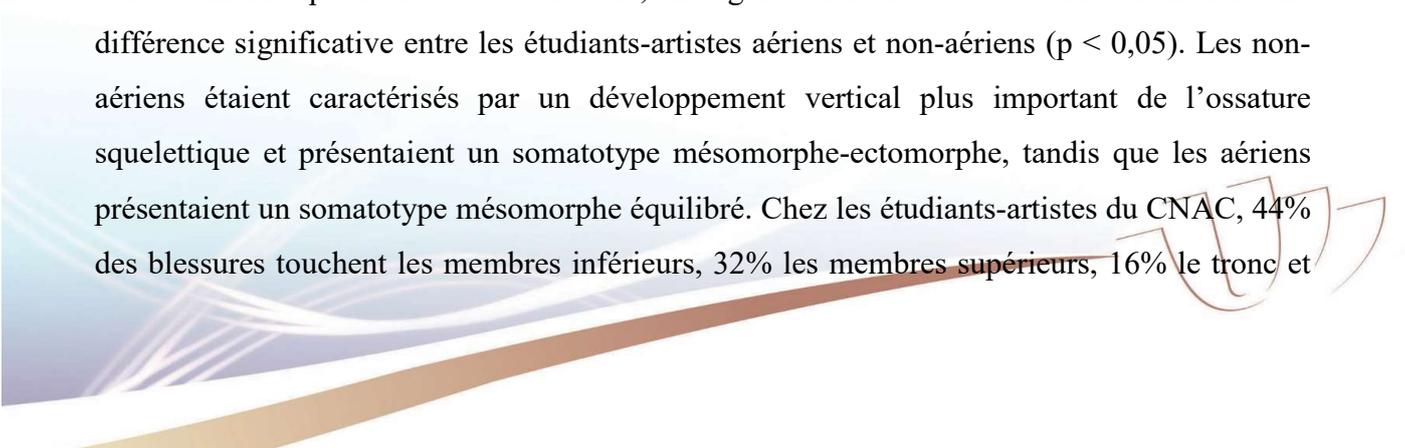


Optimisation Biomécanique et Neuromusculaire de la Performance et

Prévention de la Santé des Artistes de Cirque

Objectif : Afin de préserver la santé des étudiants-artistes de cirque, nous nous sommes fixés comme objectifs dans cette étude : premièrement, d'établir une caractérisation anthropométrique des étudiants-artistes du cirque nous permettant de les classer parmi les différentes activités et disciplines sportives et de savoir s'ils présentent des adaptations morphologiques spécifiques dues à leurs pratiques. Deuxièmement, d'étudier les causes probables des blessures chez les étudiants-artistes du cirque et de développer les programmes de prévention des blessures et d'optimisation de la performance les plus appropriés pour préserver leur santé. Nous avons mis en relation la qualité de l'échauffement général, le taux de blessures et les niveaux de sévérité. Troisièmement, d'investiguer les blessures chez les étudiants-artistes en fonction de leur approche psychologique vis-à-vis des activités physiques circassiennes et de leurs temps d'engagement effectif sur leurs appareils de prédilection.

Méthodes : Trente et un adultes (14 femmes et 17 hommes, $22,5 \pm 2$ ans, $170 \pm 6,4$ cm, $64,5 \pm 7,53$ kg) inscrits au CNAC (17 en DNSP 2 et 14 en DNSP 3) en bonne santé ont participé volontairement à cette étude. Ces étudiants-artistes ont été divisés en deux groupes : 15 aériens (Trapèze ballant, Trapèze fixe, Voltigeurs, Mât Chinois, Tissus aériens, Sangles aériennes, Corde lisse, Corde volante) et 16 non-aériens (Banquine, Portés acrobatiques, Roue acrobatique, Acrobatie, Jonglage acrobatique). Des mesures biométriques de tous les segments du corps ont été collectées. Un rapport prospectif de blessure a été établi. Une observation et une description des détails et des habitudes de l'échauffement général de chaque étudiant-artiste ont été réalisées avant les séances de spécialités. Pendant les sessions de spécialités, le temps d'engagement effectif sur l'agrès (TEE) et les périodes de pause ont été quantifiées. Pour établir l'approche psychologique des étudiants-artistes vis-à-vis des performances physiques artistiques, nous leur avons posé une question leur permettant de se distinguer, quand ils s'apprentent à pratiquer leurs activités circassiennes, comme étant artistes, sportifs ou à moitié artiste à moitié sportif. **Résultats :** Stature, envergure des bras et tour de taille ont montré une différence significative entre les étudiants-artistes aériens et non-aériens ($p < 0,05$). Les non-aériens étaient caractérisés par un développement vertical plus important de l'ossature squelettique et présentaient un somatotype mésomorphe-ectomorphe, tandis que les aériens présentaient un somatotype mésomorphe équilibré. Chez les étudiants-artistes du CNAC, 44% des blessures touchent les membres inférieurs, 32% les membres supérieurs, 16% le tronc et



8% le cou. 68% des blessures des membres inférieurs affectent la cheville et 27% le genou. Pour le membre supérieur, l'épaule est la zone la plus touchée avec 50% du total des blessures. Les blessures sont réparties presque également entre les groupes aériens et non-aériens. Les étudiants-artistes qui se considéraient comme non-sportifs avaient le temps d'engagement effectif le plus faible ($p = 0,029$). Neuf étudiants-artistes sur 10 dans le groupe à faible TEE (15%) ne se considéraient pas du tout comme sportifs. Dans ce groupe, nous avons enregistré 19 blessures. Dans le groupe avec le TEE moyen (55%), nous avons noté qu'il était divisé en 6 étudiants-artistes qui se considéraient comme sportifs et 6 comme non-sportifs. Vingt blessés ont été enregistrés parmi ces 12 étudiants-artistes. Au sein de ce même groupe, les 6 se considérant comme non-sportifs étaient tous blessés, se partageant au total 14 blessures.

Conclusion : Les circassiens ont montré une adaptation anthropométrique en fonction de leurs types d'activités. Toutes activités confondues, les étudiants-artistes sont plus petits que la moyenne du commun des mortels. Cela pourrait être une caractéristique anthropométrique pour répondre aux exigences fonctionnelles spécifiques du type des activités circassiennes. Les taux et les degrés de sévérité des blessures semblent avoir une relation avec la façon dont les étudiants-artistes pratiquent leurs échauffements juste avant leurs séances de spécialités ; tenant compte du fait que toutes les blessures ont été enregistrées au cours de ces séances. Nous avons constaté aussi, que ceux qui ne se considéraient pas comme sportifs, avaient le temps d'engagement effectif le plus bas et le taux de blessures le plus élevé. Ainsi, la condition physique, les prérequis pratiqués pour la préparation du corps à l'effort et l'approche psychologique envers l'activité circassienne, s'additionnent et constituent de potentiels risques d'augmentation de blessures.

Mots-clés : caractérisation anthropométrique, étudiant artiste de cirque, aérien, non-aérien, blessure, échauffement général, temps d'engagement effectif, approche psychologique vis-à-vis de l'activité.



Biomechanical and Neuromuscular Performance Optimization and Health

Prevention of Circus Artists

Objective: In order to prevent the health of student circus artists we set ourselves the objectives in this study: firstly, to establish a circus student-artist anthropometric characterization allowing for their classification among the different activities or sports discipline and to know if they present specific morphological adaptations due to their practices. Secondly, to investigate probable causes of injury occurrence among circus student-artists as well as develop the most appropriate injury prevention and performance optimization programs to preserve their health. We correlated the general warm-up quality, the injury rates, and levels of severity. And thirdly to inquire the injuries among student-artists according to their psychological approaches to the circassian physical activities and to their effective engagement times on their predilection apparatus. **Methods:** Thirty-one healthy adults (14 women and 17 men, 22.5 ± 2 years, 170 ± 6.4 cm, 64.5 ± 7.5 kg) participated voluntarily in this study. These student-artists were divided into two groups: 15 aerials (Dangling trapeze, Stated trapeze, Outfielders, Chinese mast, Aerial fabrics, Aerial webbing, Smooth rope, and Flying rope) and 16 non-aerials (Banquine, Bascule, Carried acrobatic, Cyr wheel, Acrobatics, and Acrobatic juggling). Biometric measurements of all body segments were collected. A prospective report of injury was established. Both an observation and a description of the details and habits of the general warm-up of each student-artist were carried out before the specialty sessions. During the specialties sessions the effective engagement time (EET) on the apparatus and the break periods were quantified. To establish the psychological approach that student artists have towards the artistic physical performances we asked them the following question: “Do you consider yourself as a sports person or not?”. **Results:** There was a significant difference in body anthropometric measurements between the two groups (height, arm span and waistline). Non-aerials were characterized by a slightly prominent vertical development of the skeletal frame and showed a mesomorphic-ectomorphic somatotype, while the aerials presented a balanced mesomorphic type. 44% of injuries affect the lower limbs, 32% the upper limbs, 16% the trunk, and 8% the neck. 68% of lower limb injuries are at the ankle and 27% affect the knee. In the upper limb, the shoulder is the most affected with 50% of total injuries. Injuries are spread almost equally between aerial and non-aerial groups. The student-artists considered themselves as not-sporty had the lowest EET ($p = 0.029$). 9 student-artists out of 10 in group with low EET (15%) did not consider themselves sporty at all. In this group we recorded 19 injuries. In group with a medium EET (55%), we

noted that it was split into 6 student-artists who considered themselves as sporty and 6 as not-sporty. 20 injuries were recorded among these 12 student artists. Within this same group among the 6 not-sporty ones were all those injured sharing altogether 14 injuries. **Conclusion:** The circus artists showed an anthropometric adaptation according to their activity types but in general, and all activities combined, they remain smaller than the average man. This could be an anthropometric feature to meet the specific functional requirements of this activities type. The injury occurrence rates and severities seem to have a relation with the way of student-artists practice their warm-ups just before their specialty sessions; taking into account the fact that all injuries were recorded during these sessions. We found that those who did not consider themselves as sporty had the lowest effective engagement time and highest injury rate.

Key words: anthropometric characterization, circus student-artists, aerial, non-aerial, injury, general warm-up, effective engagement time, psychological approach.

Discipline : STAPS

Spécialité : Biomécanique et physiologie du mouvement

Université de Reims Champagne-Ardenne

PSMS - EA 7507



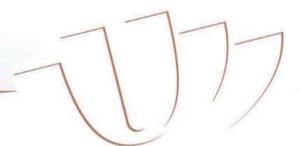
REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la réussite de ce projet en m'apportant diverses aides, qu'elles soient professionnelles, personnelles ou un peu des deux.

Je remercie le Centre National des Arts du Cirque, personnel et étudiants, pour leur hospitalité et leur collaboration. Je remercie infiniment la « Région Grand Est » et « Châlons-en-Champagne Agglo » pour leur soutien financier qui a permis d'assurer mon contrat doctoral. Il m'est important de remercier les boxeurs du club de Muay-Thai « Face à Face Reims » et spécialement le coach Jean-Marc GUILLOT.

Dans un premier temps, je tiens à présenter mes remerciements à l'ensemble des personnes constituant le jury de cette thèse de doctorat. Merci d'avoir pris de votre précieux temps pour lire, juger, et critiquer mon travail. En deuxième lieu, mes remerciements s'adressent à mon directeur de thèse le Professeur William BERTUCCI et mes deux co-encadrants Monsieur Frédéric PUEL et Monsieur Olivier NOCENT. Merci à vous trois, d'avoir pris le temps, la patience et l'énergie nécessaires pour essayer de m'orienter vers le chemin qui fait de moi le chercheur que je suis devenu. Je remercie également mon professeur et ami Monsieur Mickael SOUDAIN-PINEAU pour sa présence son soutien et son aide précieuse dans le domaine où il excelle, les statistiques.

Je voudrais adresser mes plus sincères remerciements à mon professeur, ami et compagnon de bureau Monsieur Frederyck DUTENT qui m'a supporté pendant trois ans avec mes interminables questions et qui m'a consacré énormément de son temps pour m'apprendre et me corriger en anglais. Je remercie l'ensemble du personnel administratif et du corps enseignant de l'UFR STAPS de l'université de Reims Champagne-Ardenne ainsi que tous les membres du laboratoire Performance, Santé, Métrologie, Société (PSMS).



Il est temps maintenant d'en venir à toutes ces personnes qui font que ma vie est telle qu'elle est, à savoir mes amis et ma famille. Je tiens à remercier du fond du cœur les encouragements et le soutien moral et matériel sans faille de Madame Bernadette EVEILLARD qui a été le pilier de l'aboutissement de ce projet. Je ne pense pas que je serais en train de rédiger cette section si tu n'avais pas été là pour m'épauler. Il est évident que les personnes qui méritent le plus grand merci, et que je ne saurais jamais assez remercier, sont mon père Ameer HAKIM et ma mère Latifa CHAARI. Je ne vais pas seulement vous remercier pour tout le soutien que vous m'avez apporté durant cette thèse, je vais vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi au cours de ma vie. Si j'en suis ici aujourd'hui, c'est en grande partie grâce à vous. Merci pour l'éducation et la culture dont vous m'avez fait profiter, merci de m'avoir permis d'être ouvert d'esprit sur le monde dans lequel on vit, merci surtout Latifa de m'avoir toujours poussé pour que j'atteigne mes objectifs, merci pour toutes les valeurs morales que tu continues encore aujourd'hui de m'apporter. Merci pour tous les sacrifices que tu as faits pour que l'on ne manque jamais de rien, merci d'être la magnifique personne que tu es.

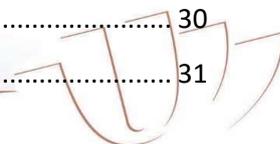
J'ai évidemment aussi une forte pensée pour mon frère Fétah et mes sœurs Hékma et Basma qui ont toujours été là pour moi. Et évidemment ma petite princesse ma nièce Baya.

Une éternelle gratitude pour ma Claire qui a été à mes côtés pendant mes moments de désespoir et de doutes à me rassurer, à me supporter et à me couvrir d'amour. Tu as toujours su te montrer vaillante pour moi, et faire passer mon avancement et ma réussite avant ta personne. Merci pour l'amour que tu me portes et pour toutes les nuits blanches que tu as passées à mes côtés à me relire, me corriger et me proposer tes remarques objectives et constructives pour ce manuscrit. Je n'imagine pas un futur sans toi et j'espère que l'on profitera toujours autant de la science et de la vie à deux.

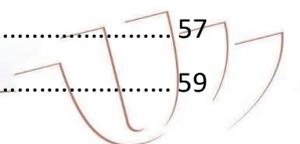


Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I :.....	9
Caractérisation anthropométrique des étudiants-artistes de cirque.....	9
I. Introduction.....	9
II. Cadre théorique.....	10
1. L'anthropométrie.....	10
2. Morphotypes.....	11
III. Problématique et hypothèses.....	14
IV. Méthode.....	15
1. Sujets.....	15
2. Protocole expérimental.....	15
3. Traitement statistique des données.....	16
V. Résultats.....	17
Caractérisations anthropométriques.....	17
VI. Discussion.....	20
Conclusion.....	23
Implications pratiques.....	23
Chapitre II :.....	25
Bilan des Blessures et mise en relation entre le Taux et la Sévérité des Blessures et la Qualité de l'Échauffement Général chez les Étudiants Artistes de Cirque.....	25
I. Introduction.....	25
II. Cadre théorique.....	25
1. Blessures dans le domaine circassien et comparaisons avec les activités gymniques artistiques et acrobatiques : définition, modèles et localisations.....	25
2. Facteurs de risque de blessures dans le domaine circassien.....	29
2.1. Facteurs de risque physique.....	29
2.2. Facteurs psychologiques.....	30
2.3. Facteurs techniques.....	31



2.4.	Facteurs extérieurs.....	32
2.5.	Facteurs intrinsèques	32
3.	Exigences de l'activité physique circassienne	32
4.	Importance de l'échauffement dans l'activité physique et relation avec les blessures.....	33
4.1.	Définition de l'échauffement et de ses objectifs	33
4.2.	Types d'échauffement.....	34
4.2.1.	L'échauffement passif.....	34
4.2.2.	L'échauffement actif.....	34
4.2.3.	Effets physiologiques de l'échauffement.....	35
4.2.4.	Relation entre l'échauffement et les blessures	36
5.	Définition des étirements et impacts sur la performance physique, la condition physique et leurs relations avec les blessures	37
III.	Problématique et hypothèses	39
IV.	Méthode.....	40
1.	Sujets.....	40
2.	Protocole expérimental	40
3.	Traitement statistique des données.....	41
V.	Résultats.....	42
1.	L'échauffement général avant les séances de spécialités.....	42
2.	Bilan des blessures.....	45
3.	Relations entre les blessures et l'échauffement général.....	47
VI.	Discussion.....	47
	Conclusion	53
	Chapitre III :.....	54
	Investigation des Blessures en Fonction du Temps d'Engagement Effectif et de l'Approche Psychologique vis-à-vis de l'Activité chez les Étudiants Artistes du Cirque	54
I.	Introduction.....	54
II.	Cadre théorique.....	55
1.	Condition physique des circassiens.....	55
2.	Quantification de la charge de travail chez les circassiens	55
3.	Récupération.....	57
4.	L'approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique	59



III. Problématique et hypothèses	60
IV. Méthode.....	61
1. Sujets.....	61
2. Protocole expérimental	61
3. Traitement statistique des données.....	62
V. Résultats	63
1. Temps d'engagement effectif vs. temps de récupération (séances de spécialités)	63
2. Relation entre la réponse à la question « Est-ce que vous vous considérez comme sportif ou non- sportif (sportive) ? » et le nombre de blessures.....	66
3. Relation entre le temps d'engagement effectif, se considérer comme sportif ou non-sportif et le nombre de blessures	67
4. Forces contractiles avant et après les séances de spécialités.....	68
VI. Discussion.....	69
1. Temps d'engagement effectif vs. temps de récupération durant la séance de spécialité...	69
2. Relation entre le temps d'engagement effectif, se considérer comme sportif ou non sportif et le nombre de blessures	72
3. Forces contractiles avant et après les séances de spécialités.....	74
Conclusion	75
Chapitre IV :	77
Mise en place de modèle cinématique à base d'un système de capture de mouvement 3D et d'un traitement automatisé pour l'analyse des déformations du rachis	77
I. Introduction.....	77
II. Cadre théorique.....	77
1. Effet traumatique du coup de genou droit en Muay-Thaiï.....	78
2. Méthodes d'évaluation de la flexibilité rachidienne	79
3. Rappels architecturaux et fonctionnels du rachis	80
3.1. Caractéristiques générales	80
3.2. Architecture du rachis	81
3.3. Biomécanique du rachis	82
3.4. Mobilité du rachis.....	83
III. Problématique	85
IV. Méthode.....	86



1. Sujets.....	86
2. Protocole.....	86
3. Analyse des données	89
Traitement automatisé.....	89
V. Résultats	95
VI. Discussion.....	100
Conclusion	107
Perspectives	108
Limites de l'étude	109
Prévention des blessures chez les étudiants artistes du cirque	110
Discussion générale.....	110
Limites et apports de l'étude :.....	114
Implications pratiques :	117
Conclusion générale	119
Perspectives	120
Références	122
Annexes.....	133
Annexes 1	133
Annexes 2	134
Annexes 3	136
Annexes 4	137



Production scientifique

Cette thèse a fait l'objet de plusieurs communications scientifiques dans des congrès et revues à comités de lecture internationaux :

1- Actes de conférence : présentation du Poster N° 4278 intitulé : « **Biomechanical Analysis and Injury Prevention of Circus Artists and Acrobats; Preliminary Study** », au « *8th World Congress of Biomechanics, 8-12 July 2018, Dublin, Ireland* ».

<https://app.oxfordabstracts.com/events/123/program-app/submission/19453>

2- Actes de conférence : présentation orale intitulée « **Investigation des Blessures chez les Etudiant-Artistes du Cirque ; Etude Préliminaire** », au *12ème Congrès national de médecine et traumatologie du sport SFMES – SFTS, 19 au 21 septembre 2019, Reims, France*.

3- Publication de l'article scientifique : « **Circus Student-Artists Anthropometric Characterization; Preliminary Study** » dans la revue « *Journal of Physical Health and Sports Medicine* ».

[DOI URL : https://doi.org/10.36811/jphsm.2019.110002](https://doi.org/10.36811/jphsm.2019.110002)

4- Publication de l'article scientifique : « **Injury assessment in circus student-artists population; preliminary study** » dans la revue « *Science & Sports* ».

[DOI URL : https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.07.006](https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.07.006)

5- Un troisième article scientifique intitulé : « **Injury Investigation as a Function of Effective Engagement Time and Psychological Approach to Activity among Circus Student-Artists** » est soumis et en est cours d'expertise dans la revue « *Journal of Applied Sport Psychology* ».





8th World Congress of Biomechanics
8-12 July 2018
Dublin, Ireland
www.wcb2018.com



Biomechanical analysis and injury prevention of circus artists and acrobats
A preliminary study

HASSEN HAKIM¹, FREDERIC PUEL¹, NICOLA FORESTIER² & WILLIAM BERTUCCI¹

Laboratoire Performance, Santé, Métrologie, Société (PSMS EA 7507), Université de Reims Champagne - Ardenne, France ¹
Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité (LIBM EA 7424), Université Savoie Mont Blanc, Chambéry, France ²

INTRODUCTION

Circus Activities → Injury Rates ???

Anthropometric characteristics of CNAC student-artists and their injury rates

- ↗ Injury patterns and rates
- ↗ Injury occurrence causes: Fuller et al. (2007), Sbriller et al. (2004), Wadke et al. (2012), Sbriller et al. (2014), Agrawal et al. (2007)
- ↗ Physiological
- ↗ Psychological
- ↗ Biomechanical
- ↗ Ergonomic

PROBLEMATIC

- ↗ Anthropometric characterization and morphological adaptation
- ↗ Injury patterns and rates
- ↗ Anatomical locations of injuries
- ↗ Relationships between practiced habits and injury occurrence

METHODS

- ↗ 31 healthy circus student-artists (22.5 ± 2 years, 14 women and 17 men, 16 aerials and 18 non-aerials);
- ↗ Anthropometric measurements according to external anatomical landmarks (De Leva 1996)
- ↗ Retrospective injury report
- ↗ Analysis of the individualized general warm-up

RESULTS & DISCUSSION

- ↗ Morphological adaptation for non-aerials due to the specificities of their activities (significant difference between the circumference of left and right arm)
- ↗ No apparent relationships between anthropometric characteristics, morphological adaptations, and rates as well as types of injury

↗ No impact of the activity and the gender on occurrence and types of injury

↗ 42% of injuries are considered as «minor», 28% as «moderately severe», and 30% as «severe»

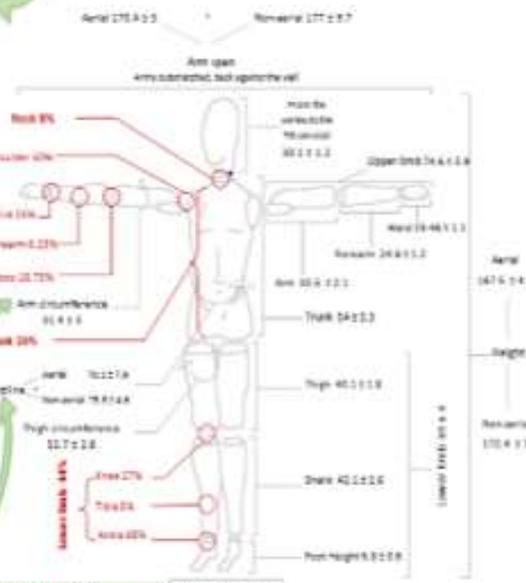
- ↗ Those who did not perform endurance and cardiorespiratory activation exercises had a higher injury rate
- ↗ Those who did not stretch had a lower injury rate
- ↗ Those who did not stretch and practice endurance exercises during the warm-up were the ones who injured themselves the least or not at all.

CONCLUSION

- ✓ The injury rate is very high among circus student-artists and seems to be directly related to their ways of preparing their bodies to begin their activities of predilection.
- ✓ Student-artists have specific anthropometric characteristics and, in addition, have developed morphological adaptations due to the specificity of their activities.



Université de Reims Champagne-Ardenne
hassen.hakim@univ-reims.fr



On the figure only significant differences appear between the aerial and non-aerial groups (p < 0.05).
Aerial n = 16: shoulder, elbow, wrist, hip, knee, ankle, and foot.
Non-aerial n = 15: shoulder, elbow, wrist, hip, knee, ankle, and foot.

Anthropometric measurements
↗ Occurrence and injury rates
↗ Location and injury rates
↗ % of injury risks





Circus Student-Artists Anthropometric characterization; Preliminary
study

Hassen HAKIM^{*}, Frédéric PUEL¹, Nicolas FORESTIER² and William BERTUCCI²

¹Laboratoire Performance Santé Métrologie Santé (PSMS EA 7507), Université de Reims Champagne-Ardenne, France.

²Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité (LIBM), Université Savoie Mont Blanc (USMB), France.

^{*}Corresponding Author: Hassen HAKIM, Laboratoire Performance Santé Métrologie Santé (PSMS EA 7507), Université de Reims Champagne-Ardenne, France, 34 Boulevard Victor Hugo 51100 Reims/France. Tel: +33686622883; Email: hakimhassen@yahoo.fr

Received Date: Dec 08, 2018 / Accepted Date: Dec 18, 2018 / Published Date: Dec 19, 2018

Abstract: The purpose of our study was to establish a circus student-artist anthropometric characterization allowing for their classification among the different activities or sports discipline and to know if they present specific morphological adaptations due to their practices.

Methods: Thirty healthy adults (13 women and 17 men, 22.5±2 years, 170.1±6.4 cm, 64.5±7.5 kg) participated voluntarily in this study. These student-artists were divided into two groups: 15 aerials (dangling trapeze, stated trapeze, outfielders, Chinese mast, aerial fabrics, aerial webbing, smooth rope, and flying rope) and 15 non-aerials (banquine, bascule, carried acrobatic, cyr wheel, acrobatics, and acrobatic juggling). Biometric measurements of all body segments were collected.

Results: There was a significant difference in body anthropometric measurements between the two groups (height, arm span and waistline). Non-aerials were characterized by a slightly prominent vertical development of the skeletal frame and showed a mesomorphic-ectomorphic somatotype, while the aerials presented a balanced mesomorphic type.

Conclusion: The circassians showed an anthropometric adaptation according to their activity types but in general, and all activities combined, they remain smaller than the average man. This could be an anthropometric feature to meet the specific functional requirements of this activities type.

Keywords: Anthropometric characterization; Circus student-artists; Aerial; Non-aerial





Disponible en ligne sur
ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com



ORIGINAL ARTICLE

Injury assessment in circus student-artists population; preliminary study[☆]

Investigation des blessures chez les étudiant-artistes du cirque ; étude préliminaire

H. Hakim*, F. Puel, W. Bertucci

Le laboratoire Performance Santé Métrologie Société (PSMS EA 7507), Université de Reims Champagne-Ardenne, UFR STAPS, Chemin des routiers, bâtiment 25, 51687 Reims cedex, France

Received 24 March 2019; accepted 22 July 2019

KEYWORDS

Injury;
General warm-up;
Circus student-artists;
Aerial;
Non-aerial

Summary

Objective. – The purpose of our study was to investigate probable causes of injury occurrence among circus student-artists as well as develop the most appropriate injury prevention and performance optimization programs to preserve their health. We correlated the general warm-up quality, the injury rates, and levels of severity.

Methods. – Thirty-one healthy adults (14 women and 17 men, 22.5 ± 2 years, 170 ± 6.4 cm, 64.5 ± 7.5 kg) participated voluntarily in this study. These student-artists were divided into two groups: 15 aerials and (dangling trapeze, stated trapeze, outfielders, Chinese mast, aerial fabrics, aerial webbing, smooth rope, and flying rope) 16 non-aerials (banquine, bascule, carried acrobatic, Cyr wheel, acrobatics, and acrobatic juggling). A prospective report of injury was established. Both an observation and a description of the details and habits of the general warm-up of each student-artist were carried out before the specialty sessions.

Results. – Forty-four percent of injuries affect the lower limbs, 32% the upper limbs, 16% the trunk, and 8% the neck. Sixty-eight percent of lower limb injuries are at the ankle and 27% affect the knee. In the upper limb, the shoulder is the most affected with 50% of total injuries. Injuries are spread almost equally between aerial and non-aerial groups. Seventy percent of injuries were recorded in those who do not perform endurance exercises to induce cardiorespiratory activation during their general warm-ups. Seventy percent of injuries were recorded among those who practice passive, static, and long-term stretching during their general warm-ups. Eighty-five percent of minor injuries were recorded in the latter. Sixty-seven percent of severe injuries were noted among those who practice this type of stretching.

Conclusion. – The injury occurrence rates and severities seem to have a relation with the way student-artists practice their warm-ups just before their specialty sessions; taking into account the fact that all injuries were recorded during these sessions.

© 2019 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.





Introduction générale

Le monde circassien est un environnement spécifique très riche en termes d'activités et de champs évolutifs. Plusieurs chercheurs s'y sont intéressés et ont participé à l'évolution des matériaux utilisés dans la conception des différents agrès et du matériel nécessaire aux présentations et aux entraînements (Ross et al., 2009). Ces améliorations ont permis d'optimiser la sécurité, le confort de l'artiste et l'ergonomie de son expression gestuelle sur son agrès (Agnésina et al., 2007; Cossin, 2015; Cossin et al., 2017). Cependant, peu de recherches scientifiques spécifiques à la motricité circassienne se sont intéressées aux aspects méthodologiques de la performance artistique ainsi qu'à la condition physique des artistes et aux relations entre ces différentes approches dans l'incidence des blessures et la prédiction de leurs risques de survenue. Les études existantes ont permis de quantifier les blessures, de déterminer les régions anatomiques les plus touchées, les moments et lieux d'apparition aux cours desquels les blessures se produisent le plus fréquemment. Toutefois, les éventuels phénomènes déclencheurs (notamment d'origines physiologique, psychologique ou environnementale, qui en s'accumulant répétitivement et agissant sur le long terme, sont susceptibles d'être à l'origine de l'occurrence de ces blessures) ont été très peu étudiés.

Il est surprenant de constater que jusqu'alors aucune étude scientifique publiée et listée dans les principaux moteurs de recherche en sciences du mouvement (PubMed, Scopus et Google Scholar) ne porte sur l'optimisation de la performance motrice ou sur l'étude des protocoles des préparations physiques et techniques. Par exemple, parmi les études existantes, Barrault, (2014), dans une revue très générale, décrit le travail spécifique du médecin en relation avec des artistes de cirque, sans s'attarder ni sur les traits physiques et psychologiques ni sur les aspects techniques des activités physiques circassiennes. Le peu d'études expérimentales existantes sont réalisées sur les aspects méthodologiques de la prédiction du risque de blessure

au regard des dimensions psychologiques des artistes (i.e. Shrier & Hallé, 2010 ; Shrier et al., 2014). Shrier et Hallé (2010) ont suivi 47 artistes durant 16 semaines d'entraînement. En se focalisant sur les 14 dernières semaines, 46 blessures ont été relevées et seulement 22 des 47 sujets n'ont pas été touchés par des blessures. Ce constat est révélateur de l'importante exposition des artistes aux risques de blessure. Il en ressort également que des facteurs psychologiques sont associés au risque de blessure. Les facteurs les plus prépondérants sont la fatigue, l'épuisement émotionnel et le sentiment d'efficacité. Shrier et al. (2014) proposent des recommandations méthodologiques pour optimiser l'étude des facteurs psychologiques prédictifs de blessure. En outre, six études explorent les causes possibles de ces blessures et précisent leur type et localisation (Shrier et al., 2009 ; Hamilton et al., 2012 ; Orlando et al., 2011 ; Wanke et al., 2012 ; Munro, 2014). Globalement, le genre de l'artiste influence le taux de blessure (Hamilton et al., 2010) mais aussi leur localisation (Munro, 2014). Plus précisément, les artistes féminines sont significativement plus blessées au niveau des hanches (71%) et les hommes au niveau des avant-bras et des chevilles (respectivement 67 et 59% ; Munro, 2014). Wanke et ses collaborateurs (2012) suggèrent que le taux élevé de blessure sur le haut du corps peut être dû à la charge de travail élevée comme au degré de difficulté des exercices, à la capacité de stabilisation musculaire, à la capacité de puissance musculaire et aux très fortes amplitudes articulaires de certains mouvements.

Wolfenden et Angioi, (2017) dans leur revue systématique, et en se basant principalement sur les résultats des travaux de Shrier & Hallé, 2010 ; Orlando et al., 2011 ; Hamilton et al., 2010, 2012 (études sur des professionnels du cirque du soleil) ; Shrier et al., 2009 ; Wanke et al., 2012 ; Munro, 2014 (études sur des étudiants experts en arts du cirque) et Long et al., (2011) (étude sur des lycéens participant à des activités extra-scolaires du cirque), ont eu comme objectif de mieux comprendre les blessures liées au cirque et de créer un profil de blessure typique des artistes de cirque, qui à son tour fournira une base pour les futures interventions préventives.

La première constatation que les chercheurs ont mise en évidence est qu'en fonction de la définition des blessures, leurs taux changent d'une étude à une autre. Les résultats globaux de cette revue ont révélé que le taux de blessures fluctuait de 7,37 à 9,7 blessures par 1000 heures de pratique chez les artistes professionnels et que les sites anatomiques les plus fréquemment touchés sont d'abord la colonne vertébrale puis la cheville. Les lésions des tissus mous s'avéraient être le type de blessure le plus observé suivies des entorses et des lésions ligamentaires. Plus particulièrement les blessures semblaient être mineures et entraînaient peu de traitements et peu de performances manquées ou altérées. Cette revue a identifié la colonne vertébrale comme étant la zone anatomique la plus affectée et l'explique par le fait que les amplitudes extrêmes de mouvement requises dans le cirque mettent un stress particulier sur le dos, ce qui pourrait expliquer le taux élevé de blessures pour la région vertébrale. La deuxième zone la plus touchée par les blessures était la cheville et ils suggèrent que les mouvements d'atterrissage, où les forces d'impact sont souvent plusieurs fois supérieures à celles du poids corporel de l'artiste, ce qui pourraient également expliquer le taux élevé de blessures signalé dans la région de la cheville.

La gravité de la blessure a été rapportée avec une grande variation dans cinq études parmi les huit analysées. La grande majorité des blessures n'ont entraîné aucune performance manquée. Concernant la récurrence des blessures, les conclusions des diagnostics médicaux signalaient que la plupart des blessures (93%) étaient nouvelles et n'étaient pas liées à celles déjà répertoriées.

La conclusion de cette revue est que l'utilisation d'une définition uniforme des blessures dans la recherche sur le sport et les activités circassiennes permettrait une meilleure comparaison entre les études. Les taux de blessures dans la revue ne peuvent être comparés que parmi les professionnels, car les études impliquant des artistes amateurs et des étudiants ne disposent pas de données explicites et adéquates à des fins de comparaison.

En 2018, Stubbe et ces collaborateurs ont effectué une étude sur 44 étudiants artistes de la « Codarts School of Circus Arts, Rotterdam, Pays-Bas » qui avait comme but d'investiguer la quantité de problèmes de santé, le taux d'incidence des blessures, les proportions d'incidence des blessures, l'emplacement des blessures anatomiques et la gravité des blessures chez ces étudiants. Ces derniers pratiquent en moyenne 22 heures par semaine d'activités physiques circassiennes. Dans cette étude, chaque mois, tous les étudiants ont été invités à remplir des questionnaires en utilisant un système en ligne appelé le « Performing Artist and Athletes Health Monitor » (PAHM). Le PAHM a été développé par « Codarts School Rotterdam » et utilisé pour surveiller la santé physique et mentale des artistes et des athlètes. Ce système se compose de plusieurs questionnaires et items, qui sont : une échelle de douleur à échelle visuelle analogique ; une échelle de stress ; un questionnaire sur l'incapacité fonctionnelle auto-estimée due à la douleur ; un questionnaire du centre de recherche d'Oslo sur les traumatismes sportifs et sur les problèmes de santé ; un item sur les plaintes mentales ; des informations sur les caractéristiques de la blessure (localisation, antécédents et apparition aiguë ou de surutilisation) ; des informations sur la qualité du sommeil, l'énergie mentale, les sentiments et les émotions, ainsi que des éléments sur la satisfaction des répétitions et des performances, sur la prise de distance et la pratique (minutes consacrées aux différentes activités). Au cours de l'année universitaire, tous les étudiants (100%) ont signalé un problème de santé. Dans les 10 questionnaires mensuels, un total de 261 problèmes de santé a été répertorié, soit 184 blessures (70,5%), 51 maladies (19,5%), 15 problèmes mentaux (5,0%) et 11 autres problèmes de santé (3,1%). Les 44 étudiants ont signalé en moyenne 5,9 problèmes de santé au cours de l'année universitaire avec un minimum de 1 et un maximum de 10 problèmes de santé. 42 étudiants (95,5%) ont déclaré au total 184 blessures. Les 42 étudiants ont signalé en moyenne 4,4 blessures au cours de l'année scolaire avec un minimum d'une et un maximum de huit blessures. Le taux d'incidence des blessures était de 3,3 blessures par 1000 heures. La majorité de ces

blessures était localisée à l'épaule, au bas du dos, au poignet et à la cheville. Stubbe et al. (2018) ont constaté que le taux d'incidence des blessures qu'ils ont quantifié était comparable aux taux d'incidence des blessures chez les gymnastes néerlandaises de haut niveau (5,2 blessures par 1000 heures) (Richardson et al., 2017). Cependant cette incidence des blessures est 10 fois plus élevée que l'incidence de 0,3 blessures par 1000 heures trouvée dans l'étude de Wanke et al, (2012). Ceci a été expliqué par la différences des définitions de blessures utilisées dans les études synthétisées dans cette revue. En se basant sur la même définition l'incidence des blessures a été réduite à 0,4 blessures pour 1000 heures de pratique d'activités circassiennes. Cette incidence plus faible des blessures est en accord avec celle rapportée par Wanke et al, (2012). Stubbe et al. (2018) ont donc conclu dans cette étude que le fardeau des blessures est élevé chez les étudiants en arts du cirque.

Lamme, (2011), dans son analyse de l'approche préventive du cirque du soleil concernant la surveillance et la gestion des blessures et ayant pour but d'étudier l'efficacité de leurs stratégies, a conclu que la surveillance des blessures peut être un outil utile pour aider les entreprises sportives et artistiques à minimiser les taux de blessures et, par conséquent, à maximiser la longévité de leurs athlètes et artistes.

L'analyse de la littérature scientifique dans le domaine circassien permet de tirer un certain nombre de conclusions et génère des questionnements. L'état de l'art indique que le nombre de blessures observées lors de la pratique circassienne est conséquent. Ce constat est vérifié localement au niveau du Centre National des Arts du Cirque de Châlons-en-Champagne (CNAC), suite à la consultation de leur base de données référençant les blessures survenues dans leur institution. Il y apparait que le risque ainsi que la localisation des blessures sont multifactoriels et peuvent dépendre du type d'activité, de facteurs psychologiques, physiologiques, biomécaniques, environnementaux et de facteurs liés aux habitudes et aux pratiques courantes des artistes.

L'organisation du travail à la base de la formation des étudiants artistes du CNAC suit un calendrier dépendant du diplôme national qu'ils préparent. En général, les étudiants artistes s'inscrivent dans une année préparatoire supérieure optionnelle à l'Ecole Nationale des Arts du Cirque de Rosny-sous-Bois (ENACR), à la suite de laquelle ils se présentent à un concours leur permettant d'intégrer la première année du Diplôme National Supérieur Professionnel d'artiste de cirque (DNSP). La première année de formation (DNSP 1) s'effectue à l'ENACR. La deuxième et la troisième année (DNSP 2 et 3) se déroulent au Centre National des Arts du Cirque (CNAC) de Châlons-en-Champagne.

Mis à part les différentes matières théoriques concernant les arts du cirque et du spectacle, les étudiants artistes pratiquent quotidiennement une séance de « spécialisation » et une séance de « complémentaires techniques et artistiques », d'une durée d'une heure et demie chacune auxquelles peut s'ajouter une séance de danse, également d'une heure et demie, qui n'est pas quotidienne. De plus les étudiants artistes du CNAC effectuent quotidiennement des séances « d'entraînement libre » (trampoline, perfectionnement au sol ...). Ainsi ils ont en moyenne l'équivalent de 4h de pratique d'activités physiques circassiennes par jour (Annexe 1).

Décrit par leurs enseignants, ces étudiants artistes sont présentés comme des jeunes artistes de niveaux variables mais en général au-dessus de la moyenne sans qu'ils soient experts de leurs spécialités. Ils évoquent une hétérogénéité des variables physiques subjectives des étudiants, qui peut néanmoins être notée, compte tenu de la variabilité de leurs pratiques sportives et artistiques.

De manière à prévenir les risques de blessures chez les étudiants artistes du CNAC, il est essentiel : 1) de mieux les caractériser morphologiquement et de les catégoriser parmi les populations sportives, 2) de quantifier objectivement la charge de travail de leurs différentes activités physiques circassiennes, 3) d'identifier les facteurs de performance motrice

responsables d'occurrence de blessures dans le domaine circassien et de distinguer les paramètres psychologiques pouvant être à leurs origines et 4) de diagnostiquer à partir d'une analyse tridimensionnelle les amplitudes maximales des mouvements potentiellement périlleux et de déterminer un modèle prédictif du risque de blessure à partir d'une analyse systémique permettant la préservation de la santé des artistes de cirque.

Par conséquent, pour nous permettre de prévenir certaines conditions considérées comme à risque, une analyse pluri- et transdisciplinaire des exigences biomécaniques, neuromusculaires, physiologiques, psychologiques et comportementales de différentes disciplines circassiennes s'impose.

Dans le but de répondre à nos questionnements, nous proposons dans notre travail de recherche de mettre en place différents protocoles expérimentaux et campagnes de mesures qui seront développés dans quatre études distinctes. Chacune d'entre elles sera introduite par le cadre théorique qui lui est approprié afin de cerner sa problématique.

La première étude aura pour objectif d'établir et d'étudier les caractéristiques anthropométriques d'étudiants artistes du CNAC, afin de déterminer leurs morphotypes et de distinguer celui le plus adéquat aux exigences techniques spécifiques des artistes de cirque. Cette évaluation et cette caractérisation combinées à des observations sur le terrain élargiront nos connaissances sur le conditionnement et la condition physique des étudiants artistes.

La deuxième étude nous permettra de mieux connaître les localisations anatomiques les plus touchées, les types de blessures et de prospecter leurs probables causes et origines. Cette investigation associée à des observations de terrain concernant les habitudes qu'ont les étudiants artistes pour préparer leurs corps à subir les contraintes des activités physiques circassiennes, enrichiront nos connaissances sur le conditionnement et la condition physique des étudiants artistes.

La troisième étude, aura comme objectif de prospecter une éventuelle relation entre le temps d'engagement physique effectif durant les séances de spécialités, l'évolution de la force contractile des étudiants artistes pendant ces séances, leurs approches psychologiques vis-à-vis de l'activité de prédilection et le taux d'apparition des blessures chez les étudiants artistes.

La quatrième aura comme but l'identification des contraintes biomécaniques des mouvements exécutés dans des amplitudes articulaires maximales et l'éventuel risque de blessures dû aux possibles dépassements de ces amplitudes. Cette étude pourra nous éclaircir sur les effets des chocs contre les agrès ou pendant les réceptions, les exigences mécaniques qui en découlent et la susceptibilité d'induire des traumatismes sur la colonne vertébrale.

Ces quatre études nous permettront de concevoir les programmes d'optimisation des performances et de prévention des blessures les plus appropriés pour préserver la santé des artistes.

Chapitre I :

Caractérisation anthropométrique des étudiants-artistes de cirque

I. Introduction

L'architecture du squelette est unique et complexe. Elle a pour fonction de fournir soutien, protection et force au corps tout en étant suffisamment légère pour lui permettre des mouvements à la fois complexes et fluide. D'une importance équivoque, le tissu osseux est également extrêmement dynamique et répond en permanence aux divers stimuli biochimiques et physiques. L'activité physique est un stimulus majeur du squelette. Grâce à la répétitivité de l'intensité et à la fréquence de la charge de l'exercice physique, le squelette est modelé et en perpétuelle adaptation aux exigences de la masse musculaire qui lui sont imposées (Hind et al., 2012). Il a été prouvé scientifiquement depuis des décennies que l'aspect morphologique a un impact très important sur les performances sportives ainsi que sur la prédisposition à une activité ; et détermine même, parfois, des catégories pour les compétitions (Claessens et al., 1991). Ghobadi et al., (2013) ont constaté qu'au sein d'un même sport, il existe des différences dans les caractéristiques morphologiques selon le poste, le rôle ou la catégorie d'événement dans lequel l'athlète se spécialise. D'où l'intérêt et le besoin de s'informer sur les caractéristiques anthropométriques de notre population d'étude (étudiants artistes du cirque), d'autant plus si elle a été peu étudiée jusqu'alors. Avoir des valeurs de référence spécifiques au sport est une étape primordiale à effectuer quand on étudie une population sportive bien déterminée afin d'établir des profils anthropométriques spécifiques et de pouvoir les situer parmi d'autres.

Dans le cirque contemporain, le principal outil qu'a l'artiste pour interpréter son art sur scène est son propre corps. Il s'exprime à travers lui et développe les compétences nécessaires pour fasciner ses spectateurs. Par conséquent, il est essentiel d'améliorer nos connaissances sur les caractéristiques anthropométriques des artistes du cirque et de disposer de valeurs de référence spécifiques aux adaptations morphologiques de leurs disciplines. Ceci nous semble être une étape cruciale lors de l'étude d'une population sportive bien définie afin d'établir des profils biométriques spécifiques et de pouvoir les classer parmi d'autres sports et disciplines. Cela permettra de préciser notre approche et de proposer les programmes d'optimisation des performances les plus adéquats.

II. Cadre théorique

1. L'anthropométrie

L'anthropométrie est la technique permettant d'exprimer quantitativement la forme du corps. Hrdlicka (1947) la définit comme un système de techniques ; l'art systématisé de mesurer et de prendre des observations sur l'homme, le squelette, le cerveau et d'autres organes, par les moyens et les méthodes les plus fiables à des fins scientifiques. Une bonne connaissance des repères anatomiques extérieurs palpables, ainsi qu'un bon positionnement de l'instrument (avec l'instrumentation sophistiquée existante de nos jours) et du sujet doivent permettre une mesure correcte. Il en va de même de l'observateur, sa précision est sujette aux changements d'humeur, de fatigue, de santé et d'environnement, il a donc besoin de se contrôler autant que l'instrumentation et le sujet (Cameron, 1978).

Les caractéristiques morphologiques des athlètes intéressent les spécialistes de l'analyse du mouvement, car le sport de compétition sollicite au maximum les extrêmes des capacités corporelles. Il est donc nécessaire de connaître la relation existante entre structures et fonctions chez les athlètes. L'étude des athlètes de haut niveau peut donc fournir des informations sur les

conditions structurelles requises pour réussir des tâches spécifiques. De plus, les athlètes d'exception des différentes spécialités présentent un intérêt particulier en raison des informations qu'ils fournissent sur les performances extrêmes d'une population. Les facteurs physiques, notamment les caractéristiques anthropométriques, peuvent être sélectifs dans la performance sportive et sont distincts suivant le niveau de compétition entre différents sports ou entre spécialités au sein d'un même sport. Elles peuvent être influencées par l'entraînement sportif et sont un facteur sélectif déterminant les niveaux de compétition et de pratique (Carter, 1970). Le physique est mesuré par diverses procédures ; parmi elles les mesures anthropométriques consistent à déterminer les dimensions de la surface, la taille et le poids du corps ainsi que les dimensions des segments du corps. Bien que ces mesures puissent être précises, elles ne donnent que des valeurs pour un seul paramètre et n'évaluent pas la forme totale du corps. Une technique tentant d'utiliser ces dernières a été décrite par Sheldon et al. (1940, 1954), qu'ils ont appelée somatotypage. La méthode la plus pertinente de somatotypage ne doit pas utiliser d'échelles différentes selon les groupes d'âges. De nos jours, la méthode du somatotype de Heath-Carter est la plus utilisée et semble être la plus appropriée dans les études anthropométriques (Carter, 1970, 2002).

2. Morphotypes

La technique du somatotypage est utilisée pour évaluer la forme et la composition du corps. Le somatotype est défini comme la quantification de la forme et de la composition actuelle du corps humain. Il est exprimé en notation à trois chiffres représentant respectivement les composantes endomorphie, mésomorphie et ectomorphie, toujours dans le même ordre. L'endomorphie est l'épaisseur relative, la mésomorphie est la robustesse relative musculo-squelettique et l'ectomorphie est la linéarité relative ou la minceur d'un corps. Par exemple, une cote 3-5-2 est enregistrée de cette manière et se lit comme suit : trois, cinq, deux. Ces chiffres donnent l'ampleur de chacune des trois composantes. Les cotes de chaque composante de $\frac{1}{2}$ à

2½ sont considérées comme faibles, de 3 à 5 modérées, de 5½ à 7 élevées et de 7½ et plus très élevées (Carter & Heath, 1990). La notation est phénotypique, basée sur le concept de dissociation de taille géométrique et applicable aux deux sexes des enfants aux personnes âgées (Carter, 2002).

Le diagramme somatochart est divisé en secteurs par 3 axes qui se coupent au centre du "triangle" (cf. figure 1). Ces secteurs et leurs somatotypes portent des noms en fonction du rang ou de la dominance relative des composants du somatotype. Par exemple, le somatotype 3-5-2 est appelé endo-mésomorphe car la mésomorphie est dominante, l'endomorphie étant en deuxième position. Un somatotype 1-6-3 est appelé ecto-mésomorphe, un 2-3-5 un méso-ectomorphe, un 2-4-4 un ectomorphe-mésomorphe et un 2-5-2 un mésomorphe équilibré.

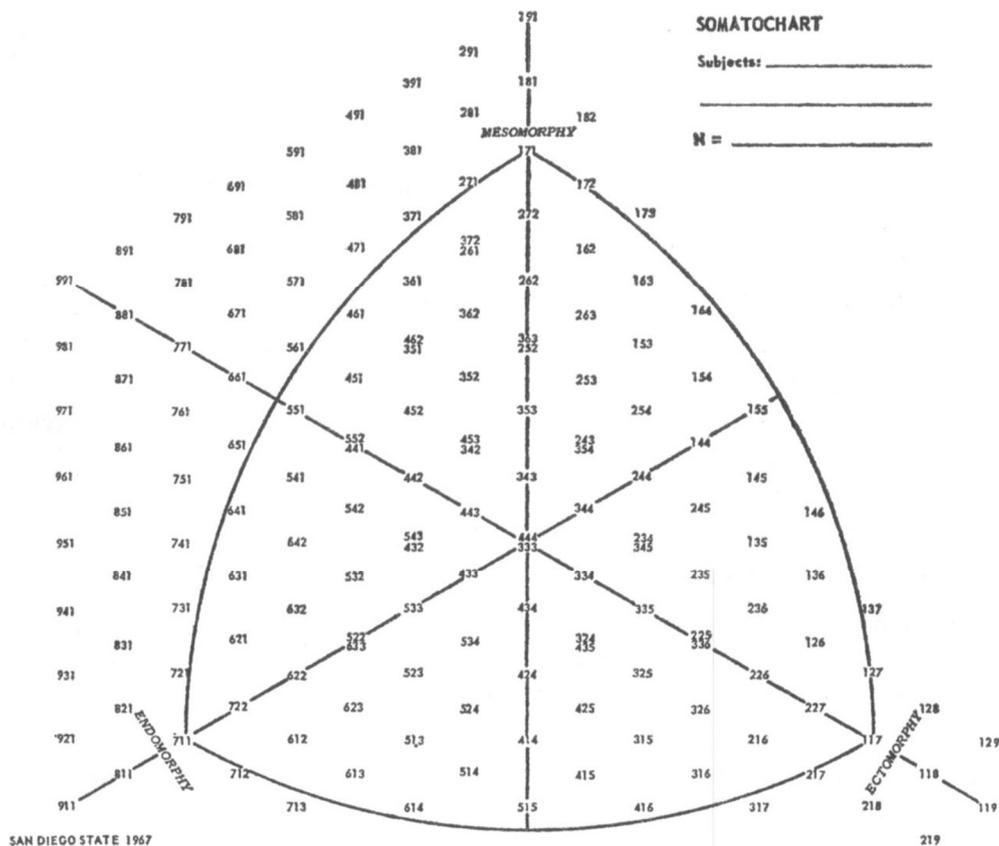


Figure 1 : Diagramme somatochart ; Carter & Heath (1990)

Dix dimensions anthropométriques sont nécessaires pour calculer le somatotype anthropométrique : la taille, la masse corporelle, quatre plis cutanés (triceps, sous-scapulaire, supra-spinal et mollet médial), deux largeurs osseuses bi-épicondyliennes (humérus et fémur) et deux circonférences de membres (tours du biceps contracté et du mollet). Ces descriptions sont adaptées de Carter et Heath (1990).

De nombreuses études se sont centrées sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques pour une performance réussie (Evans et al., 1995 ; Claessens et al., 1999 ; Mermier et al., 2000 ; Mahood et al., 2001) et la détection de talents (Russel, 1987 ; Elferink-Gemser et al., 2004) dans divers sports. Blanksby et al. (1986) ont mentionné que le succès de tout programme d'identification et de développement des talents dépend d'une bonne compréhension des exigences de performance spécifiques à ce sport. Les informations sur ces exigences, basées sur diverses mesures morphologiques, physiologiques et de condition physique, sont utiles dans tous les sports (Douda et al., 2008). Par exemple, les athlètes de gymnastique rythmique élites doivent avoir un physique approprié, conserver une masse grasse basse et posséder des capacités physiques spécifiques (souplesse, force explosive, coordination) pour réussir leur performance (Martos, 1991 ; Hume et al., 1993). Hume et al. (1993) ont révélé des corrélations faibles mais significatives entre la performance et les qualités physiques telles que les mesures anthropométriques, la force explosive et la souplesse en insistant sur l'importance de la puissance aérobie. L'une des principales constatations de Douda et al. (2008) étaient que les scores de performance en gymnastique rythmique peuvent être expliqués de manière significative par des composantes anthropométriques et par la capacité aérobie. Ils ont abouti au fait que la composante anthropométrique présente la plus grande variance cumulative dans le modèle d'analyse en composantes principales (45%) et comprend la hauteur, la masse corporelle, l'étendue des bras, les circonférences de différents segments corporels et de leurs diamètres. Douda et al. (2008) ont conclu que les caractéristiques anthropométriques,

notamment les dimensions corporelles, sont des facteurs importants et conduisent à une meilleure exécution des routines de gymnastique. La corrélation significative entre ces déterminants et la performance renforce la nécessité d'inclure dans la détection des talents de tels critères qui mettent l'accent sur certaines caractéristiques anthropométriques.

En 1997, Slezynski et Swiat ont mené une étude sur le profil anthropométrique de gymnastes polonaise de classe mondiale et ont établi des profils spécifiques pour chaque rôle et catégorie d'événement, montrant qu'il y avait des différences entre les rôles joués. Un autre travail très récent a confirmé cette différenciation des rôles (Taboada-Iglesias et al., 2015).

La typologie morphologique des mesures anthropométriques, du somatotype, de la composition corporelle et de la proportionnalité a été étudiée dans les disciplines de gymnastique de la Fédération internationale de gymnastique, telles que la gymnastique artistique masculine et féminine, la gymnastique rythmique et la gymnastique acrobatique (Bester & Coetzee, 2010 ; Joao & Fernandes Filho, 2002 ; Massidda et al., 2013 ; Poliszczuk et al., 2012 ; Slezynski & Swiat, 1997 ; Taboada-Iglesias et al., 2017). Cependant, en ce qui concerne les activités circassiennes il n'existe aucune étude.

III. Problématique et hypothèses

Dans la présente étude, l'objectif était d'établir et d'étudier les caractéristiques anthropométriques d'étudiants artistes du Centre National des Arts du Cirque de Châlons-en-Champagne afin de donner un aperçu plus précis du biotype morphologique et fonctionnel le mieux adapté aux exigences techniques spécifiques des artistes de cirque. Nous émettons l'hypothèse que le type d'activité (i.e. aérienne ou non-aérienne) a une incidence sur les adaptations morphologiques des étudiants artistes du cirque et signe leurs morphotypes. Cette évaluation et cette caractérisation combinées à des observations sur le terrain élargiront nos connaissances sur le conditionnement et la condition physique des étudiants artistes.

IV. Méthode

1. Sujets

Trente adultes en bonne santé (13 femmes et 17 hommes, $22,5 \pm 2$ ans, $170,1 \pm 6,4$ cm, $64,5 \pm 7,5$ kg) inscrits au Diplôme National Supérieur Professionnel (DNSP) de cirque au CNAC ont participé volontairement à cette étude. Ces étudiants artistes ont été divisés en deux groupes : 15 aériens, 7 garçons et 8 filles, d'âge moyen $23,5 \pm 1,8$ ans (Trapèze ballant, Trapèze fixe, Voltigeurs, Mât Chinois, Tissus aériens, Sangles aériennes, Corde lisse, Corde volante) et 15 non-aériens, 10 garçons et 5 filles, d'âge moyen $21,6 \pm 1,8$ ans (Banquine, Portés acrobatiques, Roue acrobatique, Acrobatie, Jonglage acrobatique).

2. Protocole expérimental

L'expérimentateur a relevé les mesures anthropométriques de tous les sujets en se référant aux repères articulaires anatomiques externes conformément au tableau de mesures de De Leva (1996) : tête (vertex, 7^{ème} cervicale), tronc (7^{ème} cervicale, grand trochanter), bras (acromion, tête du radius), avant-bras (tête du radius, tête ulnaire), largeur de l'humérus (largeur entre les épicondyles médial et latéral de l'humérus avec le coude fléchi à 90 degrés), main (tête ulnaire, sommet du doigt majeur), cuisse (grand trochanter, condyle latéral tibial), jambe (condyle latéral tibial, malléole latérale), largeur du fémur (genou plié à angle droit, mesure de la plus grande distance entre les épicondyles latéral et médial du fémur) et le pied (malléole latérale, sol). Le tour de taille a été mesuré au niveau des dernières côtes flottantes. La longueur du membre supérieur est la somme de celle du bras, de l'avant-bras et de la main. Le membre inférieur est la somme de la cuisse, de la jambe et du pied. L'envergure des bras a été mesurée dans une position avec les bras horizontalement tendus dans le prolongement du corps et le dos contre le mur. Les mesures de segments ont été effectuées à l'aide d'une toise en bois (*robé+medical*), d'un pied à coulisse (*Harpenden*), d'une équerre et d'un mètre ruban (*HOLTEX+*). La masse a été obtenue en utilisant une balance numérique (précision $\pm 0,1$ kg).

Les somatotypes anthropométriques ont été obtenus en se référant aux équations suivantes (Carter 2002) :

➤ L'équation pour calculer la mésomorphie est :

Mésomorphie = $0,858 \times \text{largeur de humérus} + 0,601 \times \text{largeur du fémur} + 0,188 \times \text{circonférence du bras} + 0,161 \times \text{circonférence du mollet} - 0,131 \times \text{taille} + 4,5$

➤ Trois équations différentes sont utilisées pour calculer l'ectomorphie en fonction du rapport hauteur / poids "*height-weight ratio*" (HWR), qui est égal à la hauteur divisée par la racine cubique du poids :

- Si le HWR est supérieur ou égal à 40,75, alors :

Ectomorphie = $0,732 \text{ HWR} - 28,58$

- Si le HWR est inférieur à 40,75 mais supérieur à 38,25, alors :

Ectomorphie = $0,463 \text{ HWR} - 17,63$

- Si le HWR est égale ou inférieur à 38,25 alors :

Ectomorphie = 0,1

Les équations précédentes sont dérivées des données utilisées par Heath et Carter (1967) et utilisent des unités métriques.

Pour des raisons éthiques, nous n'avons pas pu mesurer les plis cutanés, en conséquence, l'endomorphie n'a donc pas été calculée.

3. Traitement statistique des données

Toutes les données sont présentées sous forme de moyenne \pm écart type. L'hypothèse de la normalité et de la sphéricité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk. Toutes les données suivent une loi normale. Le test T pour échantillons indépendants a été utilisé pour évaluer les différences entre les deux groupes (étudiants artistes aériens et étudiants artistes non-aériens), ainsi que pour vérifier l'effet du genre au sein des groupes entre aériens et non-

aériens. Le niveau de significativité était $p \leq 0,05$. Le logiciel Statistica (version 8) a été utilisé pour effectuer tous ces tests.

V. Résultats

Caractérisations anthropométriques

Les mesures anthropométriques (en centimètres) ont présenté des différences significatives entre les mensurations des deux groupes au niveau de la taille (aériens : $167,53 \pm 4,14$; non-aériens : $172,43 \pm 7,3$; $p < 0,05$) et de l'envergure (aériens : $170,42 \pm 5,04$; non-aérien : $177,03 \pm 9,77$; $p < 0,05$). Aussi, une différence significative de la circonférence du bras a été observée chez les non-aériens, entre bras gauche (CBG) et bras droit (CBD) (CBG : $31,93 \pm 3,26$; CBD : $32,46 \pm 3,26$; $p < 0,05$), et non pas chez les aériens. Le reste des mensurations n'a pas montré de différences significatives : la masse (aériens : $62,53 \pm 5,78$; non-aériens : $66,95 \pm 8,66$; $p > 0,05$), la largeur des épaules (aériens : $50,53 \pm 3,08$; non-aériens : $52,57 \pm 4,25$; $p > 0,05$), la tête avec le cou (aériens : $29,82 \pm 1$; non-aériens : $30,43 \pm 1,42$; $p > 0,05$), le tronc (aériens : $53,67 \pm 3,52$; non-aériens : $54,5 \pm 3,34$; $p > 0,05$), le membre supérieur (aériens : $73,03 \pm 2,89$; non-aériens : $76,16 \pm 4,49$; $p > 0,05$), le membre inférieur (aériens : $88,02 \pm 3,8$; non-aériens : $89,98 \pm 4,25$; $p > 0,05$), le tour de bras (aériens : $30,91 \pm 2,43$; non-aériens : $32,21 \pm 3,2$; $p > 0,05$), le tour de cuisse (aériens : $53,09 \pm 2,58$; non-aérien : $52,5 \pm 3,12$; $p > 0,05$) et le tour de taille (aériens : $70,71 \pm 7,94$; non-aériens : $75,5 \pm 4,87$; $p > 0,05$). Concernant les paramètres anthropométriques représentant des différences significatives, l'effet du genre au sein des groupes entre aériens et non-aériens a été vérifié et nous avons constaté une différence significative entre les garçons aériens et les garçons non-aériens en ce qui concerne la taille (garçons aériens : $168,9 \pm 4,5$; garçons non-aériens : $173,3 \pm 2,8$; $p = 0,03$) et l'envergure (garçons aériens : $173,0 \pm 5,2$; garçons non-aériens : $178,9 \pm 3,8$; $p = 0,02$) mais pas au niveau du tour de taille (garçons aériens : $75,0 \pm 4,1$; garçons non-aériens : $76,4 \pm 3,5$; $p = 0,48$). Chez

les filles aériennes et les filles non-aériennes nous n'avons pas constaté de différences significatives entre elles concernant la taille (filles aériennes : $166,5 \pm 4,1$; filles non-aériennes : $165,5 \pm 6,6$; $p = 0,73$), l'envergure (filles aériennes : $168,5 \pm 4,3$; filles non-aériennes : $164,7 \pm 8,8$; $p = 0,33$) et le tour de taille (filles aériennes : $67,5 \pm 8,8$; filles non-aériennes : $69,2 \pm 6,1$; $p = 0,73$). Ces résultats nous ont permis d'établir un profil anthropométrique spécifique d'un étudiant artiste du CNAC comme le décrit la figure 2.

Tableau 1 : Moyenne des mesures anthropométriques des étudiants artistes suivant le type d'activité.

Mesures	<i>Aérien</i>	<i>Non-aérien</i>	Différence Significative ($p \leq 0.05$)
<i>Taille (cm)</i>	167.5 ± 4.1	172.4 ± 7.3	$p = 0.01^*$
<i>Masse (kg)</i>	62.5 ± 5.8	66.4 ± 8.7	$p = 0.11$
<i>IMC (kg/m²)</i>	22.2 ± 1.6	22.3 ± 2	$p = 0.80$
<i>Envergure (cm)</i>	170.4 ± 5	177 ± 9.7	$p = 0.04^*$
<i>Tronc (cm)</i>	53.7 ± 3.5	54.3 ± 3.3	$p = 0.44$
<i>Tour de taille (cm)</i>	70.1 ± 8	75.5 ± 4.7	$p = 0.05^*$
<i>Membre supérieur (cm)</i>	73 ± 2.9	76.1 ± 4.3	$p = 0.06$
<i>Bras (cm)</i>	29.9 ± 1.7	31.9 ± 3.4	$p = 0.21$
<i>Circonférence du bras (cm)</i>	30.9 ± 2.4	31.9 ± 3.4	$p = 0.27$
<i>Avant-bras (cm)</i>	24.1 ± 1.2	25.1 ± 1.2	$p = 0.02^*$
<i>Main (cm)</i>	19 ± 0.8	19.9 ± 1.3	$p = 0.07$
<i>Membre inférieur (cm)</i>	88 ± 3.8	90 ± 4.1	$p = 0.30$
<i>Cuisse (cm)</i>	40.3 ± 2.1	39.9 ± 1.6	$p = 0.62$
<i>Circonférence cuisse (cm)</i>	53.1 ± 2.6	52.4 ± 3.1	$p = 0.65$
<i>Jambe (cm)</i>	41.1 ± 2.3	43 ± 2.6	$p = 0.10$
<i>Circonférence mollet (cm)</i>	37.4 ± 1.7	37 ± 2.3	$p = 0.64$
<i>Hauteur du pied (cm)</i>	6.6 ± 0.6	7.1 ± 0.6	$p = 0.05^*$

* Différence significative entre les deux groupes ($p \leq 0.05$).

Tableau 2 : Somatotype des étudiants artistes suivant leur type d'activité. Les valeurs sont présentées en moyennes \pm écart-type

Somatotype	<i>Aérien</i>	<i>Non-aérien</i>	Différence Significative ($p < 0.05$)
<i>Mésomorphie</i>	3.8 ± 1	3.3 ± 1.3	$p = 0.40$
<i>Ectomorphie</i>	2.4 ± 0.7	2.7 ± 1	$p = 0.49$

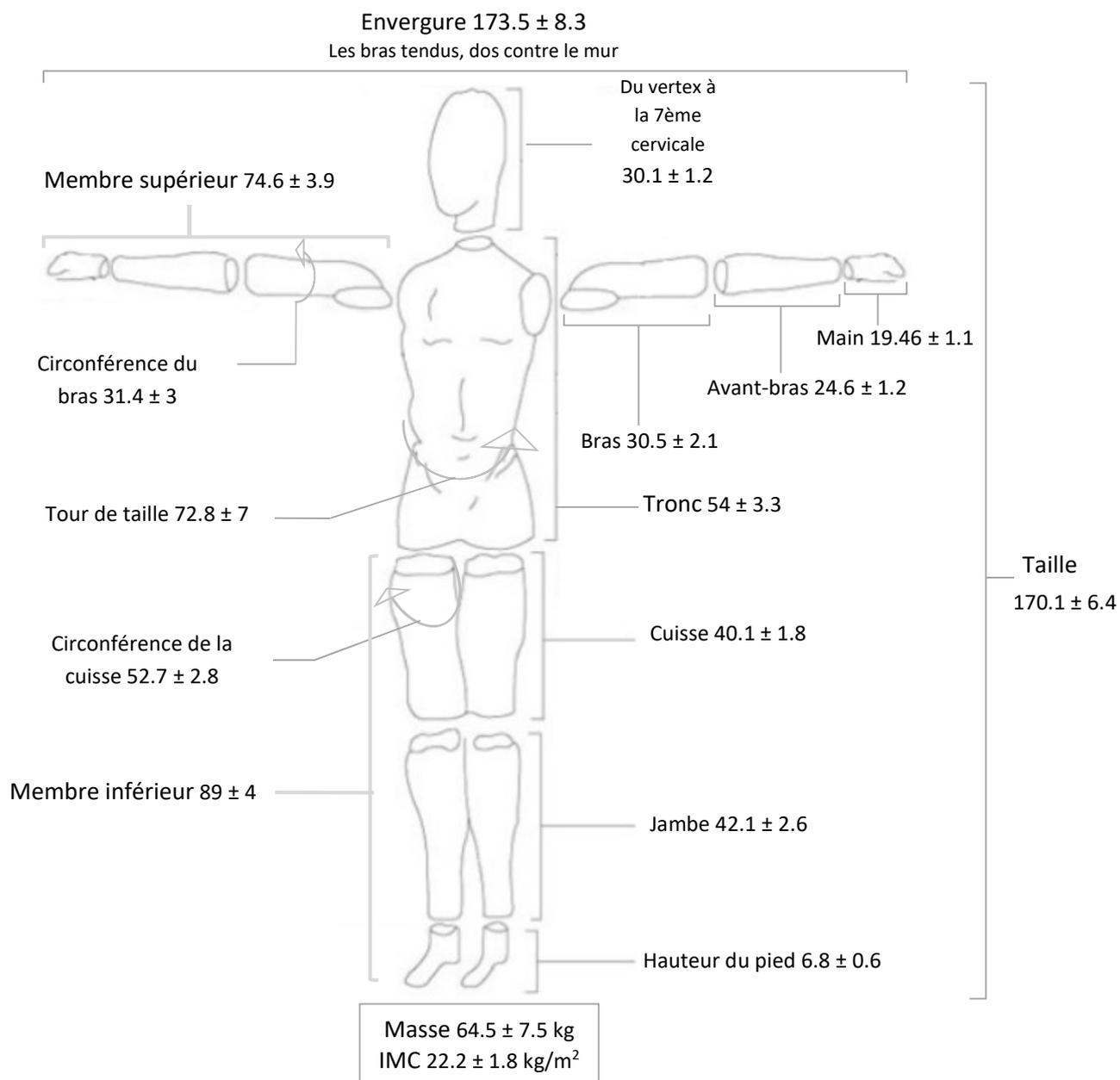


Figure 2 : Caractéristiques anthropométriques des étudiants artistes

Les valeurs des mesures anthropométriques (cm) correspondent aux moyennes des mesures des deux groupes combinés (aériens et non aériens).

VI. Discussion

Les mesures anthropométriques nous ont permis de constater que les étudiants artistes non-aériens sont significativement plus grands, plus larges en termes d'envergure et ont le tour de taille moins fin que les aériens. Ils ont réussi à développer largement plus leur circonférence du bras droit, donc leur biceps droit, comparativement à leurs bras gauche, ce qui n'a pas été observé chez les aériens. Ceci démontre des adaptations spécifiques dues aux types des activités circassiennes pratiquées. Nos résultats sont en accord avec ceux de Douđa et al. (2002), dans leur étude traitant des différences spécifiques sur les caractéristiques morphologiques induites par l'entraînement. Ils ont observé que la circonférence du membre supérieur des spécialistes de la gymnastique artistique ($n = 60$) présentait des valeurs plus élevées concernant le biceps, l'avant-bras et le poignet que celle des spécialistes de la gymnastique rythmique ($n = 60$). Ceci a été expliqué par le fait que les membres supérieurs doivent fournir une base solide de support pour les positions inversées des mouvements instables lors des enchaînements des éléments gymniques. Ils n'ont observé aucune différence significative dans les circonférences des membres inférieurs entre ces mêmes groupes. Dans cette même étude, ils ont observé des adaptations unilatérales pour les circonférences de la cuisse et du mollet chez les spécialistes de la gymnastique rythmique. Ils ont souligné que ces différences entre les jambes droite et gauche ont été observées chez un groupe de gymnastes qui avaient suivi pendant six ans un programme d'entraînement intense spécifique et que celui-ci était probablement à l'origine de ces différences de circonférences. Cette observation montre l'adaptation unilatérale spécifique au sport induite par l'utilisation partielle de la jambe droite comme jambe de travail prédominante et de la jambe gauche comme jambe d'appui lors de l'exécution de différents exercices.

Les résultats de l'étude de Douđa et al. (2002) montrent qu'il existe des différences significatives dans les caractéristiques anthropométriques générales entre des pratiquants de

gymnastique artistique et de gymnastique rythmique et qu'un entraînement particulier régulier peut conduire à des adaptations musculaires spécifiques modifiant ainsi le physique des athlètes de ces deux sports.

La meilleure symétrie observée chez les aériens peut s'expliquer par le fait qu'ils sollicitent de la même manière leurs deux bras quand ils sont sur leur agrès et que leurs tailles moins grandes sont plus faciles à maîtriser, contrairement aux non-aériens qui ont souvent un côté de prédilection qu'ils sollicitent plus que l'autre. Ils ont tendance, une fois qu'une technique efficace a été établie, à utiliser la jambe et la main privilégiée à plusieurs reprises pour garantir la cohérence et la fiabilité des performances (Sadeghi et al., 1997). Sadeghi et al. (1997) ont identifié qu'une fois que la préférence du membre a été développée, le membre dominant ou préféré est dédié à la mobilisation pendant le mouvement, tandis que son opposé joue le rôle de stabilisateur. Lors de nombreuses pratiques sportives, le membre non prédominant, en terme de contractions musculaires, travaille naturellement dans la stabilisation posturale et le contrôle de l'équilibre, alors que le membre prédominant agit plus dans le développement des forces pour l'acte dynamique des gestes techniques, ce qui explique la différence de la force et de la circonférence en faveur du membre préféré (Frutoso et al., 2016 ; Shigaki et al., 2013). Cette observation montre l'adaptation unilatérale spécifique aux activités non-aériennes induite par l'utilisation partielle d'un membre comme un membre actif et son opposé comme membre d'appui lors de l'exécution de différents exercices (équilibres, tours, impulsions) par les étudiants artistes (Douda et al., 2002, 2008). Ces résultats pourraient avoir des implications pratiques pour les entraînements. D'après le type de l'activité, les étudiants artistes se sont adaptés suivant leurs prédispositions morphologiques et physiologiques, qui a été la base de leur présélection, et l'un des principaux facteurs leur permettant de s'ajuster morphologiquement et permettant l'adaptation à la charge de travail très élevée des activités circassiennes.

Le groupe non-aérien présente un somatotype mésomorphe-ectomorphe, tandis que le groupe aérien présente un somatotype mésomorphe équilibré. Cette caractérisation est similaire à celle réalisée par Giampietro et al. (2003) qui ont observé un développement plus important de la construction corporelle verticale des athlètes d'élite de karaté, également mis en évidence par le somatotype mésomorphe-ectomorphe comparativement à celui trouvé pour les amateurs (i.e. mésomorphe équilibré). Ils mentionnent qu'un physique élancé peut affecter positivement les performances de karaté, de sorte que les sujets aux membres longs et de petite à moyenne taille ont plus de chances d'obtenir les meilleurs résultats sportifs.

Nos résultats concernant le somatotype des aériens s'accordent également avec ceux de Taboada-Iglesias et al. (2017) qui ont constaté que le somatotype de tous les gymnastes acrobatiques suivis dans leur étude (150 gymnastes nationaux et internationaux âgés de 11 à 20 ans, principalement des femmes) se distingue par la prédominance de la composante mésomorphe dans toutes les catégories d'événements et que les autres composantes présentent des valeurs variables selon la spécialité. Ils ont observé que ceux qui effectuent les figures artistiques et les voltiges au sommet des pyramides humaines (et qui sont considérés dans la gymnastique acrobatique comme aériens) étaient petits et légers et présentaient un mésomorphe équilibré (Taboada-Iglesias et al., 2015). Bies et al. (2006) et Massidda et al. (2013), ont constaté que les gymnastes artistiques masculins présentent un somatotype mésomorphe équilibré sachant que ces derniers ont dans leurs activités pratiquées quatre disciplines sur six de type aériennes. Cependant dans les études de Menezes et Filho (2006) et Poliszczuk et al. (2012) les composantes mésomorphe et ectomorphe étaient prédominantes dans le somatotype en gymnastique rythmique qui est considérée comme une discipline non-aérienne. De leur côté Bester et Coetzee (2010) ont suggéré dans leur étude que l'ectomorphie est l'indicateur du talent athlétique en gymnastique.

En termes de caractéristiques segmentaires générales, les étudiants artistes, toutes spécialités confondues, se classent en dessous des normes standards mises en place par De Leva (1996) en ce qui concerne le bras, l'avant-bras, le tronc et la cuisse, en dessus des normes pour la jambe et dans les normes pour la main. Ces caractéristiques anthropométriques spécifiques sont des déterminants importants d'une performance réussie dans les activités artistiques et acrobatiques contemporaines (Douđa et al., 2008).

Conclusion

Les circassiens montrent une adaptation morphologique en fonction de la nature de leurs spécialités. On peut en conclure que les artistes aériens sont plus petits, plus minces et moins larges que les non-aériens et que, du point de vue de leurs caractéristiques anthropométriques générales, les circassiens, toutes spécialités confondues, ont les bras, les avant-bras, le tronc et les cuisses plus petits que ceux de la population composée d'individus lambda, telle qu'étudiée par De Leva (1996). Cela pourrait être un bon critère pour sélectionner et identifier les jeunes talents destinés à devenir des artistes de cirque contemporain.

Implications pratiques

Afin d'éviter les déséquilibres bilatéraux et antéro-postérieurs, il serait souhaitable d'introduire des exercices de renforcement musculaire compensatoire visant les chaînes musculaires les moins sollicitées. Il peut aussi être demandé aux artistes d'essayer de réaliser, de manière occasionnelle certaines figures qu'ils ont tendance à n'effectuer que sur un côté du corps afin d'activer le côté opposé et de mieux le développer en prenant les précautions de sécurité nécessaires. Aucune généralisation ne peut être appliquée en ce qui concerne les programmes de prévention des blessures chez les étudiants artistes du cirque. Les propositions et suggestions concernant l'optimisation de performance visant à compenser les équilibres antéro-postérieurs et bilatéraux ne peuvent et ne doivent pas se baser sur une standardisation scientifique des

charges d'entraînement. Une conceptualisation d'exercices spécifiques et individualisés en terme de charges de travail et de succession d'exercices est primordiale pour les artistes du cirque moderne. Ceci permettra de contre balancer les fréquentes unilatéralités musculaire de leurs corps dues aux spécificités de leurs activités.

Chapitre II :

Bilan des Blessures et mise en relation entre le Taux et la Sévérité des Blessures et la Qualité de l'Échauffement Général chez les Étudiants Artistes de Cirque

I. Introduction

Dans le cirque contemporain, le principal outil qu'a l'artiste pour interpréter son art sur scène est son propre corps. Être blessé empêche l'artiste de s'exprimer et de développer les compétences nécessaires pour fasciner ses spectateurs. Il est donc essentiel d'améliorer nos connaissances sur les blessures et les risques de leur apparition, afin d'établir des mesures préventives précoces et efficaces.

II. Cadre théorique

1. Blessures dans le domaine circassien et comparaisons avec les activités gymniques artistiques et acrobatiques : définition, modèles et localisations

Dans les activités gymniques et acrobatiques, Kerr et al. (2015) définissent une blessure comme tout incident survenu à la suite de la participation à une pratique ou à une compétition sportive et qui a nécessité la consultation d'un médecin. Caine et al. (2003) la définissent comme « toute partie du corps endommagée qui interférerait avec l'entraînement ».

Les formations suivies dans les écoles de cirque sont des formations professionnelles, donc toutes les blessures et les accidents au sein de ces écoles ou en représentation en relation avec leur formation sont considérés comme des accidents du travail. Pour Shrier et al. (2009) la première étape dans tout programme de prévention des blessures est de décrire le modèle de blessure, la gravité de la blessure et l'incidence associée à l'activité. Ces auteurs ont alors

effectué la première étude épidémiologique descriptive décrivant les modèles et le taux de blessures chez les artistes du cirque moderne, en l'occurrence du Cirque du Soleil entre 2002 et 2006. Parmi les nombreux arts du spectacle, les artistes du cirque moderne peuvent être les plus proches du sport, car les artistes ont souvent une formation en gymnastique et/ou en acrosport. Malgré le grand nombre d'artistes et d'étudiants artistes de cirque, en consultant dans PubMed ou Embase et en utilisant une stratégie de recherche large («circus» et «injury»), la seule référence liée aux blessures de formation ou de représentation chez les artistes de cirque, que Shrier et al. (2009) ont pu trouver, était un rapport de cas d'une fracture de fatigue proximale de la fibula (Al-Kashmiri & Delaney, 2007). En se référant au registre mondial de blessures, cité dans les travaux de Hootman et al. (2007), Shrier et al. (2009) ont accédé aux enregistrements d'une base de données électronique, réalisés par des thérapeutes de rééducation certifiés, et répertoriant les blessures survenues pendant chaque spectacles de cirque depuis 2002. Ces données restent donc limitées aux blessures survenues lors de spectacles, puisque les séances de formation ne sont pas documentées dans cette base de données et, par conséquent, les taux de blessure de formation n'ont pas pu être calculés. Dans cette étude ils définissent une blessure comme toute visite chez le médecin pour une nouvelle plainte ou atteinte liée au travail. Ils ont catégorisé les blessures en fonction de l'emplacement anatomique et du type de blessure comme recommandé par les déclarations du consensus publié (Fuller et al., 2007). Shrier et al. (2009) ont constaté qu'il y avait 18 336 spectacles ou préparations d'un spectacle ayant entraîné des blessures pour 1376 artistes du Cirque (du Soleil), 534 artistes féminines (38.8%) et 842 artistes masculins (61.2%). Sur les 18 336 événements causant des blessures, la plupart étaient mineurs, 17 740 ont causé une blessure unique, 279 ont causé 2 blessures et 10 événements ont causé 3 ou 4 blessures. Pour le membre supérieur, l'épaule était la zone la plus souvent lésée dans 50% des cas, et les blessures des membres inférieurs sont plus réparties de manière égale (hanche, cuisse, genou, jambe, cheville...). Ces chercheurs concluent en premier lieu que la

plupart des blessures chez les artistes de cirque professionnels nécessitent peu de traitements et n'entraînent pas une longue période de repos. En deuxième lieu, que l'aspect anatomique et le genre de blessure en général ne montrent pas de différences entre les deux sexes. Ils suggèrent et proposent que les programmes de prévention des blessures ciblant l'épaule auraient probablement un plus grand effet dans la réduction des blessures des membres supérieurs. En ce qui concerne le membre inférieur, bien que les blessures qui le touchent soient réparties anatomiquement de manière égale, les programmes de prévention ciblant le genou et la cheville produiraient vraisemblablement les avantages les plus généraux.

À travers une étude épidémiologique descriptive rétrospective, Wanke et al. (2012) étudient le nombre et le type d'accidents du travail chez 169 étudiants en cirque d'une école de formation d'état (70 garçons et 99 filles), en se basant sur les données du "*Berlin State Accident Insurance (UKB)*" sur une période de 17 ans. Puisqu'une blessure d'un étudiant artiste est considérée comme un accident du travail, alors "*The State Accident Insurance*" la définit comme « un incident à durée limitée affectant le corps pendant le travail ou sur le chemin du travail ou de la maison ». Chaque accident du travail implique une consultation avec un médecin autorisé à traiter des accidents du travail. Wanke et al. (2012) constatent que pour une moyenne de 30 étudiants par année académique, un étudiant artiste sur trois subit au moins une blessure aiguë par an. Le pourcentage le plus élevé de blessures fut celui de celles classées comme « mineures » 83,3%, suivi de celles classées comme « moyennement graves » avec 13,9% et seulement 2,8% des blessures furent classées comme « sévères » (classement suivant la durée du traitement). Les investigateurs ont noté que de tous les accidents, 87% se produisent dans le gymnase et près de la moitié des accidents (50,3%) sont attribués aux acrobaties au sol. Aucune différence significative entre les sexes n'est observée. Ils relèvent que seulement 7% de toutes les blessures entraînent une absence dépassant plus de trois jours de formation. Ils rapportent

enfin que la plupart des blessures sont subies au cours des mois suivant les vacances d'été avec 16% en septembre, suivi de novembre 12,3% et d'octobre 11,1%.

Kerr et al. (2015), en décrivant l'épidémiologie des blessures de gymnastique féminine de la « National Collegiate Athletic Association » durant deux saisons, ont signalé qu'une majorité des blessures (358 blessures soit 85,6%), sont survenues pendant l'entraînement et que 60 blessures (14,4%) sont apparues pendant la compétition. La zone la plus touchée est la cheville avec 17,9% du total des blessures, suivie par le bas de la jambe et le tendon d'Achille avec 13,6%, viennent ensuite le tronc (13,4%), puis le genou (10,3%), puis le bras et le coude (8,4%) et enfin l'épaule avec 6,5% (le reste du pourcentage des blessures est éparpillé sur d'autres zones anatomiques avec des valeurs inférieures). La plupart des blessures (61,5%, n = 257) sont survenues en pré-saison, 34,2% (n = 143) en saison régulière et 4,3% (n = 18) en post-saison. La plupart sont apparues au cours de l'exercice au sol (41,9%).

Westermann et al. (2015) ont constaté des taux de blessures similaires entre les gymnastes masculins et féminins. Sur une durée de suivi de 10 ans, 64 gymnastes masculins ont subi 240 blessures, dans le même temps 55 gymnastes féminines ont subi 201 blessures. Près de la moitié du total de ces gymnastes ont été blessés à l'exercice au sol. La région anatomique la plus souvent atteinte chez cette population était le pied et la cheville (39%), suivie par la main et le poignet (24%). Ils suggèrent que les stratégies de prévention des blessures devraient se concentrer sur la cheville et le pied ainsi que sur le coude, le poignet et la main.

Les exercices au sol s'avèrent souvent être l'événement où la plupart des blessures de gymnastique se produisent (Caine et al., 1996). L'incidence des blessures pendant l'exercice au sol est élevée, probablement parce que l'apprentissage des compétences a lieu sur des exercices au sol (Sands, 2000).

Malgré les efforts considérables effectués par les entraîneurs de gymnastique sur la théorie de l'entraînement moderne, l'entraînement en gymnastique peut avoir lieu dans des approches sporadiques et non cycliques. Par exemple, les charges d'entraînement augmentent généralement considérablement au cours des dernières semaines avant les compétitions importantes (Sands, 2000). Kerr (1990) a montré que l'incidence des blessures a tendance à augmenter dans les semaines qui précèdent immédiatement la compétition. Goudard et al. (1992 a) et Wanke et al. (2012) ont remarqué également une augmentation du taux de blessures chez les circassiens durant les périodes qui précèdent immédiatement la préparation des spectacles.

Les facteurs causaux possibles des blessures dans la gymnastique acrobatique et artistique ont été divisés en deux catégories : la première associe (1) des facteurs intrinsèques, individuels ou internes à (2) des facteurs comportementaux ou incitants et la seconde associe des facteurs extrinsèques, externes ou environnementaux (Graption et al., 2013). La première catégorie (intrinsèque / comportementale) comprenait le manque de périodes de repos, le surentraînement, la faiblesse induite par des blessures antérieures, le non-respect des conseils médicaux, les erreurs techniques, les facteurs psychologiques et le manque de préparation. Les facteurs extrinsèques (externes ou environnementaux) correspondaient au matériel, aux types des matériaux et aux règles de sécurité incluant la fonction du pareur.

2. Facteurs de risque de blessures dans le domaine circassien

2.1. Facteurs de risque physique

Wanke et al. (2012) suggèrent que les blessures chez les étudiants artistes peuvent résulter de la charge de travail élevée ainsi que de l'écart entre le degré de difficulté extrême des mouvements requis dans les arts du cirque et la capacité de stabilisation musculaire. De plus, en fonction de l'heure du jour, le risque de blessure augmente au fil du temps à chaque fois qu'une combinaison de mouvements exigeante est effectuée et ceci sans un état d'endurance aérobie suffisant. Pour la diminution de ces risques de blessure, Wanke et al. (2012) proposent

qu'un entraînement additionnel de force et de conditionnement physique avec formation en stabilité et coordination puisse constituer une première étape vers un programme de prévention des blessures réussi (Ramel et al., 1997 ; Wyon et al., 2005).

2.2. Facteurs psychologiques

Les facteurs de risque psychologique peuvent également jouer un rôle important. Les états émotionnels peuvent influencer les blessures. La corrélation entre le stress et le nombre de blessures est plus grande lorsque l'athlète est vulnérable au stress et a peu de soutien social pour y faire face (Deroche et al., 2007). Dans ce sens, Shrier et Hallé (2010), réalisent une étude prospective spécialement conçue pour tester si les états psychologiques prédisent une blessure. Cette étude exploratoire utilisant les données disponibles identifie les déterminants psychologiques potentiels de l'augmentation du risque de blessures chez les artistes qui s'entraînent pour travailler avec le Cirque du Soleil pendant la période de formation générale (en 2003). Le Cirque du Soleil a utilisé le questionnaire RESTQ-76 pour mesurer les facteurs de risque psychologique potentiels d'un artiste. A l'origine ce questionnaire de stress et de récupération a été élaboré par Kallus (1995) pour obtenir des réponses contrastées à la question : « Comment allez-vous ? ». Le questionnaire de récupération-stress pour les athlètes (RESTQ-Sport) a été développé par Kellmann et Kallus (2001) pour mesurer la fréquence du stress actuel ainsi que la fréquence des récupérations associées aux activités. L'état actuel de récupération-stress dépend du stress et de la récupération des activités précédentes. La spécificité du RESTQ-Sport est qu'il permet une mesure systématique et directe des fréquences des événements, états et activités évalués en considérant simultanément les processus de stress et de récupération. Avec 19 échelles, le RESTQ-Sport évalue les événements potentiellement stressants et reposants et leurs conséquences subjectives au cours des trois derniers jours / nuits. L'évaluation de l'état de récupération-stress par le RESTQ-Sport est le résultat d'une évaluation quantitative de la fréquence de stress et de récupération des activités au cours des trois derniers

jours / nuits. Une version plus récente de ce questionnaire de récupération-stress pour les athlètes, le « RESTQ-76 Sport » développé par Uhlig et Kallus (2004), comprend 76 énoncés (items) plus un item d'introduction (item d'échauffement), qui n'est pas inclus dans la notation. Au-delà de la simple description des états de stress physique et/ou mental des sportifs, le RESTQ-76 Sport témoigne également des méthodes employées dans les stratégies de récupération, ainsi que de leur efficacité. La théorie sur laquelle est basé ce questionnaire énonce que l'accroissement du stress dans la vie, couplé à un faible potentiel de récupération, va être à l'origine d'une variation de l'état psychophysique général.

Les résultats de Shrier et Hallé (2010), utilisant le questionnaire RESTQ-76 développé par Uhlig et Kallus (2004), suggèrent que les facteurs psychologiques de base, tels qu'une faible sensation d'efficacité, des niveaux élevés de fatigue et l'épuisement émotionnel sont associés à une augmentation de deux à trois fois du risque de blessures au cours des 14 semaines suivantes. Un niveau élevé de stress social ou un faible niveau de réussite ou d'accomplissement personnel peut également prédire les blessures mais ils n'indiquent pas de combien le risque de blessure augmente lorsque ces facteurs psychologiques sont présents.

2.3. Facteurs techniques

Les facteurs techniques (e.g. une faute de réalisation d'une figure, une particulière complexité de l'exercice ou d'une sur-rotation, un apprentissage non maîtrisé d'une figure...) sont le centre autour duquel pivotent tous les facteurs de risque de blessures. Dans les arts du cirque, l'émotion transmise au public est souvent liée à une représentation du danger. Le contexte de réalisation de la performance physique dans le cirque est particulier. Il peut y avoir un blocage sur la réalisation d'une figure en phase d'apprentissage, voire même lorsque la figure est habituellement maîtrisée. Il peut y avoir aussi une inhibition due à une interférence ou une confusion entre deux figures. Ces problèmes sont souvent traduits par des pertes d'équilibre ou

par des mouvements effectués dans les limites, voire au-delà, des amplitudes articulaires, causant ainsi des traumatismes graves (Barrault & Goudard, 2004).

2.4. Facteurs extérieurs

Les facteurs extérieurs (e.g. un problème dû à l'usure du matériel, un problème d'installation du matériel, une aide mal effectuée, une parade ratée) sont à considérer comme sources majeures de blessures chez les artistes de cirque. La sécurité est au cœur du métier des gréeurs, des directeurs techniques et des concepteurs d'équipements circassiens. Au Québec, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, a publié un portrait des risques du métier des artistes. L'analyse des blessures répertoriées par le Comité de la santé et de la sécurité du travail des danseurs, musiciens, comédiens et artistes de cirque montre que la troisième cause de blessure est due au contact avec des objets ou avec l'équipement (Ross et al., 2009).

2.5. Facteurs intrinsèques

Dans les rapports identifiant des facteurs causaux possibles d'occurrence de blessures de Grapton et al. (2013), les facteurs intrinsèques / comportementaux figuraient en tête de liste dans les trois sports acrobatiques que sont le trampoline, le tumbling et la gymnastique acrobatique. Il n'y avait aucun facteur causal spécifique pour un sport acrobatique particulier.

En plus des facteurs physiques, psychologiques, procéduraux ou matériels, les facteurs dus à une préparation insuffisante et/ou inappropriée de son corps à l'action (e.g. échauffement inapproprié, insuffisance ou absence d'échauffement...) sont des déclencheurs favorisant l'apparition de traumatisme ; c'est principalement sur ces facteurs que nous allons nous focaliser dans cette investigation.

3. Exigences de l'activité physique circassienne

Sans doute, les pratiques circassiennes appartiennent au domaine artistique. Mais vu ce qu'elles nécessitent comme engagement permanent du corps dans des mouvements explosifs d'une

motricité parfaitement maîtrisée permettant l'exécution de performances physiques hors normes, les disciplines circassiennes font partie intégrante du domaine sportif. Au-delà du fait d'être des artistes exceptionnels, les circassiens sont comparables à des sportifs de haut niveau et peut-être dans certains cas de meilleurs niveaux qu'eux, étant donné que les artistes s'entraînent tous les jours et qu'il leur arrive d'enchaîner les représentations quotidiennement, voire plusieurs fois par jour, tandis que le sportif de haut niveau s'entraîne au quotidien avec une compétition hebdomadaire en général. Barrault et Goudard (2004), après des années d'expérience en tant que médecins du sport au CNAC à suivre de près les étudiants artistes, ont reconnu que les pratiques circassiennes sont semblables aux sports acrobatiques sur les domaines physiologiques, énergétiques et neurosensoriels. Ils ont mis en évidence que les traumatismes des artistes sont plutôt dus à leurs pratiques et non pas à des aspects extérieurs et divers.

Préalable à toute activité, la préparation du corps aux mouvements, appelée communément échauffement, est une étape très importante. Elle est d'ailleurs obligatoire pour les activités circassiennes et la négliger est l'une des principales causes pouvant induire une blessure. D'où l'importance de préparer son corps à l'activité, et ceci, par un échauffement adéquat et de qualité.

4. Importance de l'échauffement dans l'activité physique et relation avec les blessures

4.1. Définition de l'échauffement et de ses objectifs

Le terme échauffement, dans le sport, est défini comme une période d'exercices préparatoires visant à améliorer les performances ultérieures (Hedrick, 1992), à améliorer la dynamique musculaire de sorte que le corps soit moins sujet aux blessures et destinée à préparer l'athlète aux exigences de l'activité (Woods et al., 2007). L'échauffement induit : une vasodilatation

musculaire améliorant la circulation du sang et de l'oxygène, provoquant une sensation de chaleur mais aussi un dérouillage articulaire et un éveil proprioceptif pour gagner à la fois en amplitude dans le geste mais aussi pour réagir aux situations inconscientes telles que les réflexes ; essentiels pour la suite de la pratique. L'objectif principal d'un échauffement avant l'exercice est d'accroître la souplesse des muscles et des tendons, de stimuler le flux sanguin vers la périphérie, d'augmenter la température musculaire et d'améliorer les mouvements libres et coordonnés (Smith, 1994). Fradkin et al. (2010) ont conclu dans leur revue de littérature qu'il a été prouvé que dans 80% des cas le fait d'effectuer un échauffement avant de pratiquer différents types de sports améliorerait les performances ultérieures.

4.2. Types d'échauffement

Les techniques d'échauffement peuvent être classées en deux grandes catégories : l'échauffement passif et l'échauffement actif.

4.2.1. L'échauffement passif

Un échauffement passif est un échauffement dans lequel la température musculaire ou la température corporelle centrale est augmentée par des moyens externes (par exemple des douches ou bains chauds, des saunas, des plaquettes de chauffage et des massages). Ce type d'échauffement est considéré comme le moins efficace.

4.2.2. L'échauffement actif

L'échauffement actif implique de l'exercice et est susceptible d'induire de plus grands changements métaboliques et cardiovasculaires que l'échauffement passif. L'échauffement actif est probablement la technique d'échauffement la plus utilisée (Bishop, 2003). Il peut, en outre, être classé comme un échauffement général ou un échauffement spécifique (Woods et al., 2007). Des exemples typiques d'échauffement actif comprennent le jogging, la gymnastique

suédoise, le cyclisme et la natation. Un grand nombre des avantages de l'échauffement actif ont été attribués à l'augmentation de la température musculaire et/ou centrale obtenue par les mouvements actifs des principaux groupes musculaires. Un échauffement actif d'intensité modérée est capable d'améliorer la performance de saut vertical, des performances à court terme en natation, de la course et du cyclisme. Cela est en grande partie attribuable à une augmentation de la température des muscles (Asmussen et al., 1976 ; Bergh & Ekblom, 1979; Bishop, 2003).

4.2.3. Effets physiologiques de l'échauffement

Un bon échauffement avant l'exercice doit être un échauffement actif (Bishop, 2003), impliquant des exercices amenant à une adaptation progressive du système cardiorespiratoire, métabolique et musculosquelettique, permettant de stimuler le flux sanguin vers la périphérie, d'augmenter la température des muscles et la température centrale, de hausser la glycolyse sans diminuer la disponibilité de phosphates à haute énergie, d'accroître la souplesse des muscles et des tendons, de diminuer la rigidité des articulations et d'améliorer les mouvements libres et coordonnés (Smith, 1994). Un échauffement actif peut également avoir des effets supplémentaires sur la diminution de la raideur musculaire en rompant les liaisons stables entre les filaments d'actine et de myosine (Proske et al., 1993) et permet d'augmenter la vitesse et la force des contractions musculaires et l'augmentation de la vitesse de transmission nerveuse (Shellock & Prentice, 1985 ; Agre, 1985). L'échauffement doit se baser sur la progressivité de l'intensité et en parallèle vers la spécificité des efforts demandés par la suite. Un échauffement général standard peut contenir par exemple, 8 à 12 minutes de course à pied ou de vélo en augmentant progressivement l'intensité, sans dépasser 40 à 50% du VO_2 max pour l'activation cardiorespiratoire et métabolique ; suivies d'exercices de renforcement des chaînes musculaires, de la partie inférieure vers la partie supérieure du corps, à faibles charge et intensité (de

préférence avec élastiques, 10 à 12 répétitions à 30 à 40% d'une répétition maximale 1RM). Ces exercices de renforcement sont entrecoupés de courtes périodes d'étirements actifs et dynamiques et de courtes durées (6 à 8 secondes par chaîne musculaire) permettant la potentialisation des unités musculo-tendineuses (Opplert & Babault, 2019). Enfin, des exercices impliquant des pressions sur les articulations (de la partie inférieure vers la partie supérieure du corps) doivent être suivis par des exercices de mobilisations articulaires visant à réduire le liquide synovial à l'intérieur des articulations afin de les préparer aux impacts. Il est important que l'échauffement ne soit ni trop intense ni suivi d'une période de récupération inappropriée. En général, l'échauffement devrait produire une sueur légère sans fatiguer l'individu (Woods et al., 2007).

4.2.4. Relation entre l'échauffement et les blessures

Ciullo (1983) ainsi que Zarins et Ciullo (1983) ont noté que les composantes élastiques du muscle sont susceptibles d'être altérées lorsque ce dernier est « froid ». Un muscle froid est raide, la raideur musculaire prédispose aux blessures musculaires (Brewer, 1960 ; Ekstrand & Gillquist, 1983). La plupart des auteurs attribuent le lien entre échauffement et réduction des blessures à l'augmentation de l'amplitude de mouvement. D'autres ont montré que l'échauffement élève la température musculaire, ce qui réduit simultanément la viscosité musculaire, et rend les contractions plus douces (Woods et al., 2007). En outre, l'échauffement détend le muscle par les mécanismes susmentionnés et les préservent pendant les activités subséquentes. L'échauffement fournit un mécanisme protecteur au muscle, de sorte que le muscle échauffé nécessite plus de longueur d'étirement et de force pour engendrer une déchirure comparativement à un muscle froid (Safran et al., 1988). L'augmentation de la vitesse de transmission neuronale peut améliorer le temps de réaction et permettre aux athlètes d'éviter les torsions, les entorses et les chutes. L'échauffement donne au muscle la capacité de s'allonger

sans s'endommager et peut permettre aux athlètes d'assumer des positions inhabituelles qui pourraient autrement entraîner des blessures (Kreighbaum, 1996).

5. Définition des étirements et impacts sur la performance physique, la condition physique et leurs relations avec les blessures

Les exercices d'étirement ont longtemps été considérés comme une partie essentielle des procédures d'échauffement avant l'exercice. Ils peuvent être définis comme la capacité d'un muscle à tolérer une augmentation de l'inconfort de la procédure d'étirement à l'amplitude terminale du mouvement (Smith, 1994). Ce sont des procédés manuels passifs ou actifs destinés à mettre en course maximale la structure musculo-tendineuse dans un souci d'étirement des composantes contractiles ou non contractiles. Ils éloignent ainsi les insertions proximales et distales avec une notion de point fixe et de point mobile (Genot et al., 1983). Le *stretching* est un ensemble de postures d'auto-étirements, de contractions musculaires et de techniques respiratoires dont le but essentiel est de favoriser une régulation tonique grâce à des étirements volontaires et des contractions musculaires profondes.

Les étirements permettent d'améliorer la souplesse musculo-tendineuse ce qui préserve l'athlète de l'occurrence des blessures dues à l'hyper sollicitation de son organisme (Hartig & Henderson, 1999 ; Woods et al., 2007). Cet effet bénéfique du stretching s'exprime par un changement dans les composants structurels du muscle lui permettant une meilleure capacité à tolérer l'augmentation de l'inconfort de l'amplitude terminale du mouvement induit par l'étirement (Reid & McNair, 2004). Les muscles qui subissent des étirements fréquents avec un maintien prolongé de la position allongée augmentent leurs masses et développent davantage de sarcomères en série, et ce phénomène se produit principalement à l'extrémité distale de ces éléments contractiles (Williams & Goldspink, 1973 ; 1978). Afin de bénéficier des avantages des étirements, ces derniers doivent être actifs, dynamiques et de courtes durées (Fletcher &

Jones, 2004). Cependant les étirements passifs, statiques et de longues durées, juste avant les exercices de hautes intensités, ont tendance à produire un refroidissement et une gêne dans la circulation sanguine musculaire (Alter, 2004 ; Mizuno et al., 2013). Ainsi, il est suggéré d'effectuer ce genre d'étirements pendant des séances spécifiques à eux seuls et de ne pas les associer aux séances impliquant de la résistance et de l'explosivité.

L'étirement musculo-tendineux n'intervient ni dans la préparation à l'effort, ni dans la récupération. Il est cependant utile pour améliorer la souplesse et pour atténuer la tension musculaire. Les étirements statiques passifs et de longues durées permettent l'augmentation de l'extensibilité musculaire et améliore la tolérance à l'allongement (Halbertsma et al., 1996). Il est recommandé de ne pas en faire ni à froid, ni en passif. Un étirement bien conduit est donc actif, c'est-à-dire réalisé par l'artiste lui-même. Il n'est pas brutal, il est à la limite de la douleur. Il est plus facilement réalisé après l'effort lorsque le corps est chaud. Il existe deux types d'étirements : le stretching balistique qui consiste à effectuer des mouvements répétitifs, à éviter car les secousses et la répétitivité peuvent être trop violentes et entraîner des lésions musculaires ou tendineuses ; le stretching statique qui lui consiste en un étirement progressif durant 15 à 20 secondes. Cette action permet aux muscles et aux tendons de se relâcher et de diminuer leurs raideurs.

Effectués avant un exercice de type résistance maximale, les étirements statiques passifs et de longues durées ont des effets délétères sur les performances explosives notamment sur la force nette produite en une répétition maximale et sur les différents types de sauts (McNeal & Sands, 2003 ; Di Cagno et al., 2010). Kokkonen et al. (1998) ont suggéré qu'après un étirement passif et statique, une altération de la sensibilité des propriocepteurs articulaires ou musculaires pouvait survenir. Les organes tendineux de Golgi réagissent aux charges à haute tension en inhibant par réflexe le muscle étiré et ses synergistes. Les récepteurs de la douleur inhibent également l'activation musculaire.

Dans la littérature, les programmes existants de prévention des blessures sont basés sur l'optimisation de l'ergonomie des équipements et des accessoires, la gestion de la charge de travail et la réhabilitation appropriée après une blessure. Dans toutes les études existantes traitant des blessures chez les circassiens, aucune ne s'est intéressée à la relation entre la manière et les habitudes qu'adoptent les étudiants artistes pour se préparer et préparer leurs corps à faire face aux exigences de leurs activités de prédilection.

III. Problématique et hypothèses

Dans la présente étude, l'objectif est d'établir le bilan des blessures des étudiants artistes du CNAC, bilan qui nous permettra de mieux connaître les localisations anatomiques les plus touchées et les types de blessures et de prospecter leurs probables causes et origines. Cette investigation combinée à des observations sur le terrain, concernant la qualité de l'échauffement effectué par les étudiants artistes, élargiront nos connaissances sur le conditionnement et la condition physique des étudiants artistes. Cela nous permettra de concevoir les programmes d'optimisation des performances et de prévention des blessures les plus appropriés pour préserver la santé des artistes. En tenant compte des résultats des différentes études épidémiologiques (Caine et al., 2003 ; Kerr et al., 2015 ; Kolt & Kirkby, 1999, 1995 ; Wanke et al., 2012) qui affirment toutes que plus de la moitié des blessures ont été enregistrées pendant les activités au sol et vue l'hétérogénéité corporelle observée dans notre première étude, nous émettons les hypothèses suivantes : 1) les étudiants artistes non-aériens sont plus blessés que les aériens et 2) la qualité de l'échauffement, son contenu et la manière dont les étudiants artistes préparent leurs corps, pour pratiquer leurs spécialités, est en relation directe avec le taux de blessures et leur sévérité. Notre objectif était donc 1) d'établir le rapport de blessures, 2) d'étudier les relations possibles entre les blessures, les habitudes lors des échauffements généraux effectués juste avant les séances de spécialité et le type d'activité pratiquée.

IV. Méthode

1. Sujets

Trente et un adultes (14 femmes et 17 hommes, $22,5 \pm 2$ ans, $170 \pm 6,4$ cm, $64,5 \pm 7,5$ kg) inscrits au CNAC (17 en DNSP 2 et 14 en DNSP 3) en bonne santé ont participé volontairement à cette étude. Ces étudiants artistes ont en moyenne entre 20 et 25 heures de pratique d'activité physique circassiennes par semaine. Ces derniers ont été divisés en deux groupes : 15 aériens (Trapèze ballant, Trapèze fixe, Voltigeurs, Mât chinois, Tissus aériens, Sangles aériennes, Corde lisse, Corde volante) et 16 non-aériens (Banquine, Portés acrobatiques, Roue acrobatique, Acrobatie, Jonglage acrobatique).

2. Protocole expérimental

Le bilan des blessures a été établi au cours d'un entretien individualisé, lors duquel chaque étudiant artiste, en s'appuyant visuellement sur un calendrier, a émis un retour rétrospectif sur les blessures qu'il avait subies au cours de l'année (2016). Il précisait le mois de la blessure, son emplacement anatomique, l'activité et son occurrence au cours de la pratique, la durée de la période de repos due à la blessure et la durée de la persistance de la douleur. Ces informations étaient vérifiées et confirmées par le dossier de l'historique des blessures enregistré dans la base de données du CNAC. Ces blessures ont été classées en fonction de leur sévérité : mineure (nécessitant une visite chez le médecin et entraînant, ou pas, un repos de 1 à 4 jours avec une douleur ne persistant pas plus de 10 jours), modérément grave (entraînant une période de repos de 5 à 10 jours avec une douleur courant sur 2 semaines à 20 jours) et grave (plus de 2 semaines de repos avec une douleur d'un mois ou plus).

Après au minimum trois observations détaillées et notations de l'échauffement général précédant la séance de spécialité de chaque étudiant artiste, nous lui demandions une description détaillée de son échauffement habituel et, pour l'aider à se rappeler des routines qu'il a l'habitude de pratiquer et qu'il n'a peut-être pas effectuées pendant les échauffements observés, nous lui

positions quelques questions ciblées. Les observations des échauffements se sont basées sur leurs modèles, leurs contenus et leurs durées (présence ou pas d'exercices à base de mouvements balistiques, d'exercices d'activation cardiorespiratoire (e.g. course, vélo, corde à sauter, montées et descentes d'escaliers...), d'exercices de renforcement musculaire, d'exercices de gainage et de mobilisation articulaire). Juste à la fin de la séance de spécialité un entretien avec l'étudiant artiste d'une durée de 15 à 20 minutes nous a permis d'investiguer leurs habitudes d'échauffement à travers les questions suivantes : – Comment t'échauffes-tu ? – Combien de temps t'échauffes-tu ? – Fais-tu des exercices d'activation cardiorespiratoire (e.g. course, vélo, corde à sauter, montées et descentes d'escaliers) ? – Fais-tu des mouvements balistiques ? – Quand tu t'étires, est-ce que tu comptes la durée que tu passes sur chaque côté ? – Fais-tu des exercices de renforcement musculaire (i.e. pompes, abdominaux, tractions, squat, gainage ...) ? – Fais-tu des exercices de mobilisation articulaire ? – Lorsque tu débutes ton échauffement, est-ce que tu fais des exercices de mobilisation articulaire à froid ? – Fais-tu tes exercices d'étirements à froid ou entre des exercices de renforcement ?

Ce recueil de données liés aux échauffements a duré l'équivalent de 3 mois.

3. Traitement statistique des données

Toutes les données sont présentées sous forme de moyenne \pm écart type et/ou en pourcentage. L'hypothèse de la normalité et de la sphéricité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk. Toutes les données suivent une loi normale, le test T pour échantillons indépendants a été utilisé pour évaluer les différences entre les deux groupes (étudiants artistes aériens et étudiants artistes non-aériens). Étant donné que nos données sont sous forme de réponses par oui ou non (variables qualitatives), afin de connaître la relation entre le fait d'être blessé ou pas, pratiquer des étirements ou pas et la pratique d'exercice d'activation cardiorespiratoire ou pas, nous avons opté pour le test statistique McNemar qui étudie le détail de l'indépendance entre les conditions, c'est à dire un oui-oui face à un non-non et un oui-non face à un non-oui. Le

niveau de significativité était $p \leq 0,05$. Le logiciel Statistica (version 8) a été utilisé pour effectuer ces tests.

V. Résultats

1. L'échauffement général avant les séances de spécialités

L'échauffement général des étudiants artistes du CNAC est le suivant : pour 70% des étudiants artistes l'échauffement général se résume en une période d'étirements passifs, statiques et d'une durée moyenne de 12 min ; suivie de quelques mouvements balistiques, souvent uniquement pour les membres supérieurs, des exercices de gainage et se termine par quelques mouvements avec élastiques en guise de renforcement musculaire (là aussi essentiellement pour les membres supérieurs). L'échauffement est souvent fait juste avant la séance de spécialité, il dure en sa totalité entre 30 et 40 min suivant le *feeling* et, si l'étudiant est en retard, l'échauffement se résume en 10 à 15 min d'étirements.

L'analyse du suivi de l'échauffement général nous a permis de constater que 50% des étudiants artistes ne pratiquent ni course ni vélo ni circuits permettant une activation cardiorespiratoire avant d'entamer des activités de haute intensité. 80% des étudiants n'effectuent pas de sauts pendant leurs échauffements. Plus de 2/3 pratiquent des étirements passifs, statiques et de longue durée pour commencer leurs échauffements. 64% des étudiants artistes entament leurs séances sans qu'ils n'aient effectué des exercices de renforcement pendant leur échauffement et 79% d'entre eux pratiquent des mouvements de mobilisation articulaire à froid.

Le test McNemar nous a permis de constater une absence d'indépendance significative entre les étirements et les blessures ainsi qu'entre les différents exercices d'activation cardiorespiratoire et les blessures (Tableaux 3 – 10).

Tableau 3 : Nombre d'étudiants artistes pratiquant des étirements pendant l'échauffement ou non *VS* présence de blessures ou non

Pratique d'étirements	Presence de blessures		
	Oui	Non	Total
Oui	17	3	20
Non	7	4	11
Total	24	7	31

Tableau 4 : Test d'étude d'indépendance McNemar traitant la relation entre la pratique d'étirements pendant l'échauffement ou non et la présence de blessures ou non

Tests Statistiques	Indépendance entre étirement pendant l'échauffement VS blessures		
	Chi-square	Df	p
Pearson Chi-square	3,437	df=1	p= 0,17
McNemar Chi-square (A/D)	5,500	df=1	p= 0,008 *
McNemar Chi-square (B/C)	0,444	df=1	p= 0,34

*Absence d'indépendance significative entre les variables $p < 0,05$

Df : Degrés de liberté

Tableau 5 : Nombre d'étudiants artistes pratiquant des exercices d'activation cardiorespiratoire (course, vélo...) pendant l'échauffement ou non *VS* présence de blessures ou non

Pratique d'activation cardiorespiratoire	Presence de blessures		
	Oui	Non	Total
Oui	11	5	16
Non	13	2	15
Total	24	7	31

Tableau 6 : Test d'étude d'indépendance McNemar traitant la relation entre la pratique d'activation cardiorespiratoire pendant l'échauffement ou non et la présence de blessures ou non

Tests Statistiques	Indépendance entre activation cardiorespiratoire pendant l'échauffement VS blessures		
	Chi-square	Df	p
Pearson Chi-square	1,421	df=1	p= 0,233
McNemar Chi-square (A/D)	2,722	df=1	p= 0,098
McNemar Chi-square (B/C)	4,923	df=1	p= 0,026 *

*Absence significative d'indépendance entre les variables $p < 0,05$

Df : Degrés de liberté

Tableau 7 : Nombre d'étudiants artistes pratiquant des sauts pendant l'échauffement ou non VS présence de blessures ou non

Pratique de Sauts	Presence de blessures		
	Oui	Non	Total
Oui	5	2	7
Non	19	5	24
Total	24	7	31

Tableau 8 : Test d'étude d'indépendance McNemar traitant la relation entre la pratique de sauts pendant l'échauffement ou non et la présence de blessures ou non

Tests Statistiques	Indépendance entre pratiquer des sauts pendant l'échauffement VS blessures		
	Chi-square	Df	p
Pearson Chi-square	0,185	df=1	p= 0,666
McNemar Chi-square (A/D)	12,190	df=1	p= 0,0004*
McNemar Chi-square (B/C)	0,100	df=1	p= 0,751

*Absence significative d'indépendance entre les variables $p < 0.05$

Df : Degrés de liberté

Tableau 9 : Nombre d'étudiants artistes pratiquant des exercices de renforcement musculaire pendant l'échauffement ou non VS présence de blessures ou non

Pratique d'exercices de renforcement	Presence de blessures		
	Oui	Non	Total
Oui	7	4	11
Non	17	3	20
Total	24	7	31

Tableau 10 : Test d'étude d'indépendance McNemar traitant la relation entre la pratique d'exercices de renforcement musculaire pendant l'échauffement ou non et la présence de blessures ou non

Tests Statistiques	Indépendance entre exercices de renforcement musculaire pendant l'échauffement VS blessures		
	Chi-square	Df	p
Pearson Chi-square	1,852	df=1	p= 0,173
McNemar Chi-square (A/D)	0,900	df=1	p= 0,342
McNemar Chi-square (B/C)	6,857	df=1	p= 0,008 *

*Absence significative d'indépendance entre les variables $p < 0.05$

Df : Degrés de liberté

2. Bilan des blessures

Au sein du Centre National des Arts du Cirque de Châlons-en-Champagne (CNAC), plus des trois quarts des étudiants artistes des deux promotions en formation durant l'année 2016, ont été blessés avec une moyenne de deux blessures par étudiant. Toutes les blessures ont été signalées pendant les séances de spécialités. Cinquante blessures ont été enregistrées pour vingt-quatre étudiants artistes (11 femmes et 13 hommes) parmi les trente et un qui étaient en formation. Les femmes présentaient un pourcentage de blessures égal à 78%, avec une moyenne de 2 blessures pour chacune. Les hommes avaient à peu près le même pourcentage de blessures (76%) avec aussi une moyenne de 2 blessures pour chacun. 44% de ces blessures touchent le membre inférieur, 32% le membre supérieur, 16% le tronc et 8% le cou. 68% des blessures du membre inférieur se situent au niveau de la cheville (i.e. entorse de la cheville et atteinte du tendon d'Achille), 27% touchent le genou et 5% le tibia. Au niveau du membre supérieur c'est l'épaule qui est la plus touchée avec 50% du total des blessures, suivi du poignet avec 25%, le coude avec 18,75% et 6,25% pour l'avant-bras (figure 3). Les blessures sont réparties presque également entre les deux sexes et les deux groupes avec 11 blessés pour les 15 aériens et 13 pour les 16 non-aériens (blessures aériens : $1,38 \pm 1,4$; blessures non-aériens : $1,87 \pm 1,6$; $p = 0,63 > 0,05$). Et en ce qui concerne les zones les plus touchées, nous avons noté 11 blessures pour chacun des deux groupes au niveau du membre inférieur et 6 blessures pour les aériens et 10 pour les non-aériens au niveau du membre supérieur. 42% des blessures étaient considérées comme « mineures », 28% comme « moyennement graves » et 30% comme « graves ».

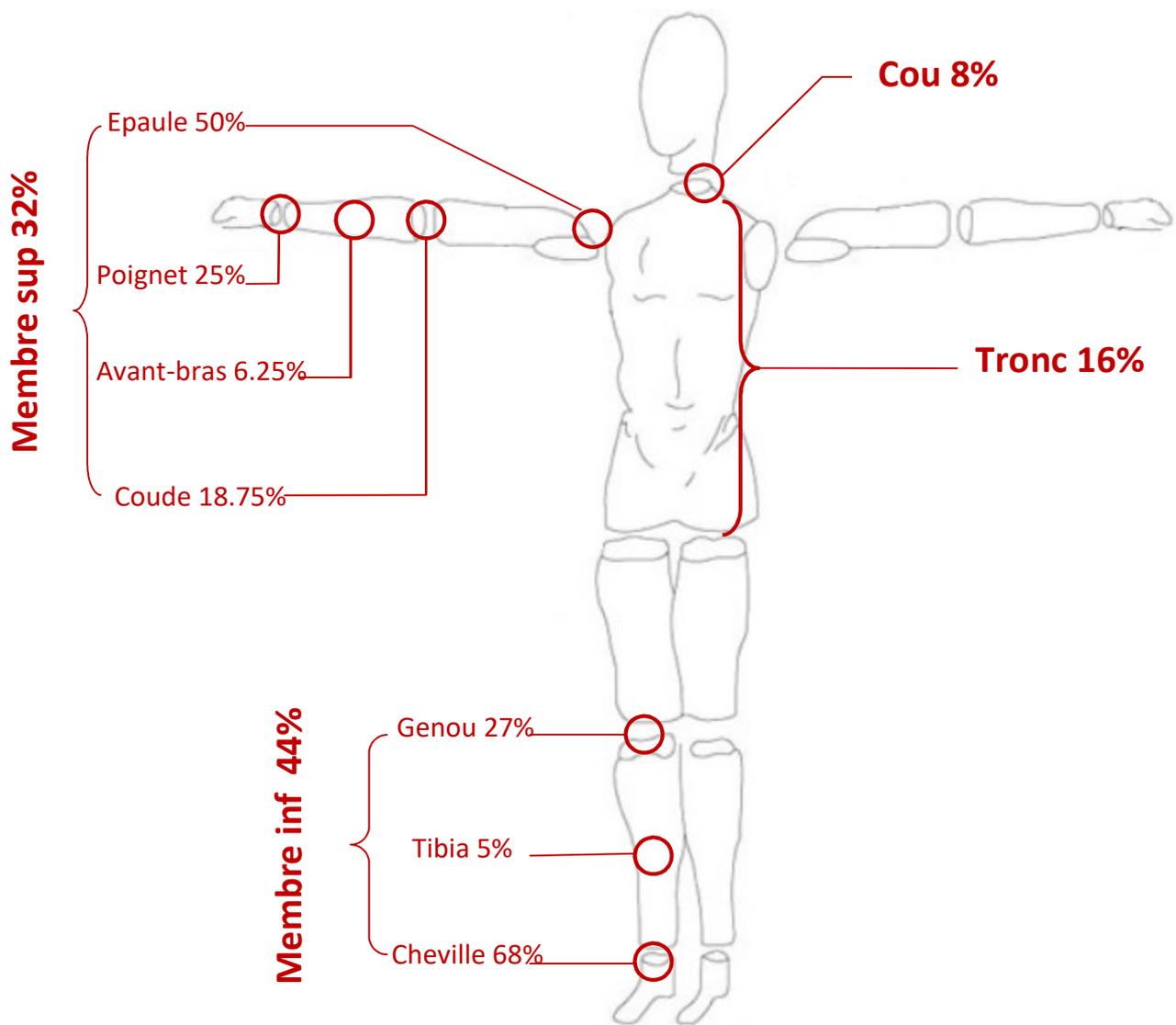


Figure 3 : Localisation et taux de blessures chez les étudiants artistes du CNAC

3. Relations entre les blessures et l'échauffement général

Sur les 50 blessures enregistrées chez les 24 étudiants artistes blessés, 35 l'ont été chez ceux qui pratiquaient des étirements passifs, statiques et de longue durée lors de leurs échauffements généraux. 85% des blessures mineures ont été enregistrées chez ces derniers. Les blessures moyennement graves étaient réparties de manière égale entre eux et ceux qui ne pratiquaient pas d'étirements lors de leurs échauffements généraux. 67% des blessures graves ont été observées chez ceux qui pratiquaient des étirements.

Trente-quatre blessures sur 50 notées ont été enregistrées chez ceux qui n'effectuaient pas d'exercices d'endurance pour induire une activation cardiorespiratoire au cours de leurs échauffements généraux. 71% des blessures mineures, 71% des blessures moyennement graves et 60% des blessures graves ont été répertoriées chez ces sujets.

Sur les 15 étudiants artistes qui ne pratiquaient pas d'exercices d'activation cardiorespiratoire, 87% ont été blessés avec une moyenne de 2 à 3 blessures par personne. Pour ceux qui pratiquaient des exercices d'endurance, seulement la moitié d'entre eux ont été blessés avec une moyenne de 1 à 2 blessures par personne.

VI. Discussion

Le but de cette étude était d'obtenir les meilleures informations sur les blessures subies par les étudiants artistes du Centre National des Arts du Cirque de Châlons-en-Champagne et de rechercher une relation prospective entre elles et les contenus et habitudes de pratique lors de leurs échauffements généraux. Cette investigation nous permettra de mettre en place les programmes de prévention des blessures les plus appropriés aux spécificités des activités circassiennes.

Plusieurs causes peuvent être incriminées dans la survenue des blessures dans le domaine des activités circassiennes. Les plus fréquentes sont les facteurs d'ordre physiologique (e.g. sur- ou sous-entraînement, périodes de fatigue qui s'accompagnent d'une diminution des performances et d'un manque de vigilance, non-respect d'un avis médical...), les facteurs psychologiques (e.g. inattention, prise de risque, hésitation, angoisse, baisse de motivation, irritabilité ou instabilité émotionnelle), les facteurs techniques (e.g. faute de réalisation d'une figure, une particulière complexité d'exercice ou d'une sur-rotation, apprentissage non maîtrisé d'une figure...), les facteurs extérieurs inhérents au matériel ou à la parade et les facteurs intrinsèques dus à une préparation insuffisante et/ou inappropriée de son corps à l'action (e.g. insuffisance ou absence d'échauffement).

Les sciences et techniques des activités physiques et sportives, peuvent contribuer à préserver le potentiel de l'artiste de cirque dont l'être tout entier est l'outil et la matière du travail. En explorant et agissant sur leurs facteurs nous pouvons prévenir les blessures, diminuer leurs apparitions et minimiser leur sévérité. Dans cette investigation nous nous sommes focalisés sur les facteurs dus à une préparation inappropriée, en l'occurrence l'échauffement général.

C'est avec son corps que l'artiste s'exprime et communique avec son public. Il est donc nécessaire que le jeune artiste soit disposé à connaître son corps, ses qualités et ses insuffisances, qu'il comprenne le besoin de préparer son corps à l'action, de développer son aptitude physique, de gérer son rythme de vie et qu'il sache éviter les situations qui altèrent la santé et la vigilance.

Les étudiants artistes du CNAC ont les mêmes types et le même pourcentage de blessures qu'ils soient filles ou garçons, aériens ou non-aériens et toutes disciplines confondues. Dans notre cas le genre n'influence pas le nombre et le type des blessures, ce qui est en accord avec les résultats de Shrier et al. (2009) et de Wanke et al. (2012). Nous n'avons pas non plus trouvé d'incidence

de la nature de l'activité sur le nombre et le type de blessures contrairement à Wanke et al (2012) qui ont observé que pendant l'entraînement près de la moitié des accidents (50,3%) des deux sexes étaient liés à des acrobaties au sol.

Pour la majorité des blessures, 42% sont considérées comme « mineures », 28% des blessures sont considérées comme « moyennement graves » et 30% comme « graves ». Ces résultats ne sont pas en accord, en premier lieu, avec ceux de Shrier et al. (2009) qui ont constaté que la plupart des blessures subies par les artistes de cirque professionnel nécessitent peu de traitements et n'entraînent ni absence d'entraînement ni de performance altérée, et en deuxième lieu, avec ceux de Wanke et al. (2012) qui n'ont comptabilisé que 2,8% de blessures classées comme « graves » et 13% comme « intermédiaires ». Cependant le pourcentage le plus élevé des blessures était classé également comme « mineures » dans leur étude, mais était deux fois plus important que ce que nous avons observé avec un taux de 83,3%.

Toutefois, dans les études traitant des blessures chez les gymnastes, Kerr et al. (2015) et Caine et al. (2003) ont quantifié respectivement 12,4% et 12,5% des blessures qui ont entraîné une perte de pratique de plus de 3 semaines et qui ont été classées comme graves. Similairement à notre étude, Caine et al. (2003) ont constaté que 91.7% des blessures sont survenues durant les séances d'entraînement. Ceci peut probablement être expliqué, dans notre étude, par le fait que 62% des blessures mineures qui ont engendré des périodes de douleur comprises entre une semaine et un mois n'ont pas été traitées et pour lesquelles les étudiants artistes n'ont pas interrompu leurs pratiques et leurs performances pour permettre un temps de cicatrisation des tissus endommagés. Ces accumulations de traumatismes au niveau des tendons, des ligaments et des muscles pourraient contribuer soit à l'adaptation physiologique (Mersmann et al., 2017), soit plutôt à des modifications pathologiques (Couppé et al., 2013) et aux risques de lésions suite au développement d'un nombre croissant de nœuds le long des fibrilles contenant des molécules de collagène dénaturées, entraînant ainsi une perte de densification et une

dénaturation moléculaire supplémentaire, accompagnées d'une perte totale et progressive de fibrilles de type II (Veres et al., 2013). Dans la plupart des cas, il est possible que ces phénomènes contribuent à des problèmes récurrents et chroniques qui peuvent être difficiles à résoudre à long terme.

Les blessures à l'épaule représentent 50% de toutes les blessures aux membres supérieurs, ce qui est en accord avec les 50% obtenus dans les résultats de Shrier et al. (2009) sur les artistes du Cirque du Soleil. En ce qui concerne le membre inférieur, 68% ont été enregistrées à la cheville, ce qui est en contradiction avec les résultats de Shrier et al. (2009) qui ont observé une répartition presque équitable des blessures dans les zones à risque pour les membres inférieurs.

L'absence significative d'indépendance entre les étirements et les blessures ainsi qu'entre les différents exercices d'activation cardiorespiratoire et les blessures, et l'analyse des couples oui-oui vs non-non et oui-non vs non-oui traités par le test statistique McNemar, nous permettent de constater les relations suivantes : 1) ceux qui pratiquent des étirement passifs, statiques et de longues durée pendant leurs échauffement généraux avant leurs séances de spécialités sont ceux les plus touchés par les blessures comparativement à ceux qui ne les font pas et 2) ceux qui ne pratiquent pas d'exercices d'activation cardiorespiratoire pendant leurs échauffements généraux sont plus touchés par les blessures que ceux qui le font.

Mis à part le fait que les étudiants artistes n'augmentent pas suffisamment leur température corporelle par un engagement cardiorespiratoire, les étirements passifs, statiques et de longue durée qu'ils pratiquent pendant leurs échauffements induisent un refroidissement musculaire et peuvent constituer une gêne à la circulation sanguine (Alter, 2004). Les étirements passifs, statiques et de longue durée avant la performance musculaire explosive agissent sur la contractilité musculaire en diminuant à la fois la force maximale isolée et la puissance maximale développée (Shrier, 2004). Cette perte de force commence à se rattraper après 10 à 15 minutes

d'activité pratiquée (Mizuno et al., 2013) en fonction des caractéristiques musculaires de chaque étudiant artiste.

La mobilisation articulaire permet aux tendons et aux ligaments un bon échauffement pour l'exécution des mouvements de grandes amplitudes, mais pour qu'elle soit efficace et n'ait pas d'effets délétères, il faut qu'elle soit faite sur des tendons et des ligaments chauds et non à froid. À l'inverse de l'idée reçue, la mobilisation articulaire n'échauffe pas les articulations. Pour échauffer une articulation il faut qu'elle soit mise en charge, c'est-à-dire par des exercices impliquant des pressions qui vont être appliquées sur les surfaces cartilagineuses pour que le cartilage perde de l'eau (le liquide synovial) et que sa matrice solide se comprime, entraînant alors une augmentation de sa résistance à la compression de façon temporaire (Prévost, 2003).

Les étudiants artistes qui n'effectuaient pas d'exercices d'intensité sous-maximale pour préparer leurs fonctions cardiorespiratoires avaient un taux de blessures plus élevé et la majorité de leurs blessures s'est produite au cours du dernier tiers de leurs séances de spécialité ; observation qui est en accord avec Wanke et al. (2012). Ces étudiants artistes ont eu le double du nombre de blessures par rapport à ceux qui ont couru, fait du vélo ou des circuits d'endurance pendant leurs échauffements. Philippe Goudard, ancien médecin du CNAC, observe une consommation d'oxygène maximale faible dont la moyenne maximale des groupes est de 55,8 ml/min/kg. Le processus aérobie n'est donc pas le plus utilisé dans les pratiques circassiennes mais est un indicateur à travailler au quotidien pour un bon état de forme optimal (Barrault & Goudard, 2004). Ceux qui ne se sont pas étirés ne se sont pas blessés ou avaient le taux de blessures le plus faible (Howell, 1984 ; Jacobs & Berson, 1986). Ceux qui s'étiraient avaient plus du double de blessures que ceux qui ne le faisaient pas. Trop d'étirements refroidit les muscles et favorise l'apparition de blessures. Ceux qui ne s'étiraient pas et ne pratiquaient pas d'exercices d'endurance lors de l'échauffement sont ceux qui se sont le moins blessés, voire pas

du tout. Même lorsqu'ils étaient blessés, il s'agissait de blessures mineures nécessitant très peu de repos, voire pas du tout.

L'interprétation de nos résultats nous permet de suggérer de passer en revue certaines étapes concernant les échauffements généraux et ceci constituera une première approche visant à prévenir les blessures. Nous proposons de minimiser les étirements passifs, statiques et de longue durée, mais également d'introduire des exercices de renforcement musculaire (avec ou sans charge) (Gourgoulis et al., 2003 ; Amason et al., 2008). De telles modifications auraient au moins deux effets bénéfiques sur la préparation du système musculosquelettique à l'effort. Premièrement, ces améliorations permettront principalement de créer des pressions et de solliciter les articulations (Wood et al., 2007). Deuxièmement, elles aideront à compenser la perte de résistance causée par l'étirement (Mizuno et al., 2013).

L'augmentation de la force contractile à la fin des séances de pratique peut s'expliquer par le fait que les étirements passifs, statiques et de longue durée, avant une performance explosive, agissent sur la contractilité musculaire en diminuant la force isolée et la puissance (Shrier, 2004). Cette diminution de force commence à se faire rattraper entre la 10^e et la 15^e minute de pratique d'activité (Mizuno et al., 2013) suivant les caractéristiques musculaires individuelles.

Introduire des exercices de renforcement musculaire, avec ou sans charge, dans l'échauffement a au moins deux effets bénéfiques pour la préparation du système musculosquelettique à l'effort : premièrement ils créent des pressions et mettent en charge les articulations et deuxièmement ils permettent de rattraper la diminution de force causée par les étirements. Il reste primordial de se préparer progressivement à l'effort demandé sans susciter de la fatigue ni entamer ses réserves énergétiques.

Conclusion

Le nombre de blessures et leurs degrés de sévérité sont presque équitablement répartis entre les différentes spécialités et entre les deux sexes, de plus, les zones les plus touchées sont la cheville en ce qui concerne le membre inférieur suivie de l'épaule pour ce qui est du membre supérieur. Les taux de survenue des blessures et leurs gravités semblent avoir une relation directe avec la manière dont les étudiants artistes pratiquent leurs échauffements juste avant leurs séances de spécialités -toutes les blessures ont été enregistrées au cours de ces séances-.

Revoir la préparation physique générale, les manières et les contenus des échauffements généraux combinés à une meilleure gestion du temps d'engagement effectif sur l'agrès et des périodes de récupération pendant les séances de spécialités, pourrait être une première étape efficace pour réduire les risques de blessures qui sont très élevés.

D'où l'intérêt et la nécessité de prospecter, dans l'étude suivante, le temps d'engagement effectif sur l'agrès durant les séances de spécialité et son impact sur le taux d'apparition de blessures.

Chapitre III :

Investigation des Blessures en Fonction du Temps d'Engagement Effectif et de l'Approche Psychologique vis- à-vis de l'Activité chez les Étudiants Artistes du Cirque

I. Introduction

On a l'habitude de décrire le corps de l'artiste comme un outil, un instrument qui est lui-même vivant et unique. Barberet (2004) va plus loin en disant que les artistes n'ont pas de corps, mais qu'ils sont des corps. Les postures et figures sont les éléments du langage propre aux arts du cirque (Goudard et al., 1992 b). Effectivement, l'artiste de cirque s'exprime avec son corps, et même avec tout son corps. Il est dans son corps et il l'anime. C'est bien tout l'être de l'artiste de cirque qui est engagé dans son art, sa pratique, sa création, sa carrière et sa vie professionnelle. L'instrument de l'artiste de cirque contemporain, avec lequel il s'exprime et sublime, est sa personne même. Un instrument de haute précision et fragile. Il est fondamental de connaître sa morphologie, sa physiologie, sa psychologie, ses qualités et ses limites pour s'entretenir et se protéger. Il faut apprendre à s'écouter et à s'analyser. Il est nécessaire de lier ses sensations à la réalité fonctionnelle de son organisme et ce, en fonction de ses spécificités personnelles et de ses limites (Goudard et al., 1992 b).

Comme le corps occupe une place centrale dans l'activité de l'artiste de cirque, le préserver et optimiser son potentiel permet d'éviter les blessures et les périodes de passage à vide et donc, de prolonger sa carrière artistique. D'où l'importance de bien ménager son corps et de bien programmer et doser sa pratique.

II. Cadre théorique

1. Condition physique des circassiens

Le corps de l'artiste est excessivement sollicité et soumis à de multiples contraintes : exercices explosifs, postures prolongées, mouvements dans des positions extrêmes, torsions, etc. Nous pouvons par conséquent considérer les séances de spécialités comme des séances d'activité physique de très haute intensité nécessitant une bonne préparation et un dosage de très bonne qualité des durées de leurs différentes parties et phases.

Dans la pratique de toute activité physique, il est requis de se fixer des objectifs et de les hiérarchiser pour se guider dans la progression. Ces objectifs peuvent être classifiés en trois catégories. Les objectifs à court terme correspondent à ceux fixés dans les séances formant le programme de la semaine et renouvelés de manière hebdomadaire. Les objectifs à moyen terme correspondent à ceux à réaliser dans l'année en adéquation avec les buts à atteindre par l'entraîneur/le professeur en fonction des périodes de compétitions ou de représentations. Enfin les objectifs à long terme sont liés aux enjeux de carrière et sont surtout importants pour une vie d'artiste majoritairement composée d'activité physique au quotidien que ce soit par l'entraînement ou par les représentations.

Toute activité est généralement construite sur un travail de fond au début de l'apprentissage gestuel ou pour la construction d'une routine quelconque pour passer à la technique par la suite.

2. Quantification de la charge de travail chez les circassiens

Dans l'activité qui se rapproche le plus des activités circassiennes ; la gymnastique artistique, l'ampleur des charges d'entraînement effectuées par les gymnastes peut être déterminée en évaluant à la fois le volume et l'intensité. Le volume des charges d'entraînement peut être défini comme le nombre d'heures, de jours, d'éléments, etc. composant l'entraînement de gymnastique qui doit se dérouler de manière cycliquement progressive.

Les charges d'entraînement peuvent également être décrites en termes d'intensité d'entraînement. L'intensité des routines peut être exprimée et évaluée en déterminant le nombre d'éléments exécutés par minute (Sands, 2000).

En ce qui concerne les circassiens, Goudard et al. (1992 a) constatent que la charge de travail peut être comparée à la charge d'entraînement en observant la durée et l'intensité de l'activité mais aussi la qualité de la prestation. Le calcul de la charge de travail dépend, selon eux, de la spécialité à laquelle ils attribuent un coefficient, mais aussi du temps d'activité et du nombre de personnes présentes au cours d'une même plage horaire.

L'artiste travaille à développer ses qualités mentales, psychiques, musculosquelettiques, cardiorespiratoires, sa coordination gestuelle et son équilibration. Cependant, de multiples circonstances peuvent altérer ces qualités et s'opposer aux effets de l'entraînement.

L'augmentation de l'intensité, le changement de type d'effort ou la durée de l'effort, favorisent l'apparition des blessures. La majorité des disciplines des arts du cirque sont source de problèmes musculosquelettiques, notamment dans les périodes d'entraînement ou de recherche de nouvelles figures (Goudard, 1989). Dans la formation aux activités physiques circassiennes, il est nécessaire d'objectiver et de quantifier la charge de travail de l'artiste. Ce dernier et ses pédagogues peuvent se baser sur ces quantifications afin de suivre le développement de ses aptitudes et compétences. L'évolution des qualités artistiques des circassiens est en relation directe avec un dosage adéquat de la charge de travail. Toutefois, une sollicitation inappropriée des paramètres cardiorespiratoires, métaboliques et psychiques, représente un risque accru de blessures. Si les qualités de base de l'artiste sont bonnes, si les infections sont empêchées et si le psychisme est proactif, le risque est faible (Goudard, 1989).

Dans leur livre « Médecine du cirque, vingt siècles après Galien », qui découle de plusieurs années de recherche et de suivi médical auprès des étudiants artistes du CNAC, Barrault et

Goudard (2004) affirment que l'apprentissage des activités circassiennes nécessite une quantité de charge de travail au-delà de laquelle apparaissent chez les praticiens des pathologies inflammatoires des systèmes musculosquelettiques et cardiorespiratoires. Ces phénomènes sont à double tranchant : quand la charge de travail est bien adéquate, ils agissent en créant des adaptations physiques et psychophysiologiques sur l'organisme de l'artiste, lui permettant de réaliser des performances qui dépassent celles des athlètes de haut niveau tout en ayant un effet préventif sur sa santé. Cependant, il suffit de peu de variation (en hausse ou en baisse) du niveau de la charge de travail pour que les adaptations dues aux phénomènes pathologiques inflammatoires perdent leurs efficacités et acquièrent un aspect néfaste. Ceci implique des risques non négligeables de pathologies nécessitant l'interruption de la pratique de l'activité physique circassienne et ayant par la suite des effets délétères sur l'équilibre neurovégétatif de l'artiste. Ces auteurs ont constaté qu'une variation du temps d'engagement effectif comprise entre 10 et 15% du temps de travail sur un programme hebdomadaire de 20 à 30 h impacte négativement les adaptations musculosquelettiques, physiologiques et mentales de l'artiste.

Dans le cirque et comme dans tous les sports de haut niveau, une charge de travail qui n'induit pas de pathologies ne permet pas à l'artiste d'atteindre un niveau d'entraînement suffisant. Une charge de travail bien dosée provoque des pathologies traumatiques efficaces permettant une bonne adaptation aux exigences de l'activité. Les phénomènes de sur- et sous-entraînement peuvent être à l'origine de pathologies pouvant conduire à l'arrêt de l'activité avec des fins thérapeutiques (Barrault & Goudard, 2004).

3. Récupération

Après les entraînements ou les représentations, il faut penser à récupérer du travail réalisé. Les muscles ont besoin de se relâcher mécaniquement, de restaurer leurs réserves métaboliques, de retrouver leur vascularisation de repos et de retrouver leur capacité enzymatique à faire de l'exercice. Après l'effort, la récupération permet le réapprovisionnement énergétique, la

rééquilibrage du système endocrinien indispensable à la croissance et à la plasticité musculaire et tissulaire (Abdessemed et al., 1999). Le repos permet également de préserver et de consolider le système cardiorespiratoire. Par ailleurs, le repos favorise la relaxation cérébrale, pendant laquelle défile le feedback sur les nouvelles connaissances de la journée stimulant ainsi l'assimilation des gestes techniques.

La durée de l'intervalle de repos utilisée pendant l'entraînement en résistance est considérée comme une variable d'importance primordiale. Il a été démontré que la quantité du repos entre les séries affectait le métabolisme, la fonction cardiovasculaire et la performance aux séries d'exercices suivantes (Richmond & Godard, 2004 ; Ratamess et al., 2007).

Selon The American College of Sports Medicine (ACSM), pour les exercices d'explosivité, il vaut mieux s'entraîner avec des périodes de récupération de 3 à 5 minutes tout en effectuant 8 à 12 répétitions par série d'exercices (Kraemer et al., 2002 ; Richmond & Godard, 2004).

Le volume d'entraînement peut ne pas laisser suffisamment de temps pour une récupération complète. Jemni et al. (2000, 2003) ont constaté que pendant les séances d'entraînement, les gymnastes exécutent des enchaînements lorsqu'ils sont fatigués. Malheureusement, lorsqu'ils sont fatigués, il existe un compromis entre performance (exécution parfaite), sécurité (risque de blessure) et effort maximal (Jemni et al., 2003 ; Buckner et al., 2017).

Bien que l'exercice soit un stress critique qui entraîne des adaptations cardiovasculaires bénéfiques associées à l'activité physique de routine, c'est pendant la période de récupération que ces adaptations ont lieu. Ainsi, on pourrait soutenir que la période de récupération est tout aussi importante que la stimulation de l'exercice (Romero et al., 2017).

4. L'approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique

Sans doute, la formation spécialisée des artistes doit s'appuyer nécessairement sur une base sous-jacente de talents innés. Mais les qualités physiques favorables et les prédispositions ne sont pas suffisantes en elles-mêmes, sachant que les artistes du spectacle doivent suivre une formation particulièrement rigoureuse et longue. Les attentes physiques envers les performances retirent ponctuellement les artistes interprètes de la confrérie des artistes et les renvoient alors dans les rangs des athlètes (Allen, 1992). Allen a poussé la similitude encore plus loin, en comparant la victoire et la qualification pour les athlètes aux applaudissements sans réserve et au passage d'audition pour les artistes interprètes.

Toutefois artistes interprètes et athlètes gardent certaines spécificités (ou présentent des dissemblances). Les artistes possèdent une pensée critique plus large et pour eux l'expression émotionnelle dans la performance est primordiale. La perpétuelle présence de musique pendant les présentations peut servir de repère pour évoquer des souvenirs corporels internes (Kogan, 2002). Les arts de la scène sont plus enclins à l'émotivité. Ils sont influencés par les différents types de traits de personnalité que les artistes peuvent avoir. Les artistes interprètes ont tendance à l'introversion, à l'instabilité émotionnelle et à la prudence (Marchant-Haycox & Wilson, 1992). Hamilton et al. (1989) ont également démontré que la personnalité des artistes avait des impacts sur la prévalence aux blessures (i.e. fractures de fatigue ou surentraînement). Les artistes ont tendance à rechercher un idéal esthétique en dépit de la performance et de la prise de risque.

Un des facteurs influents pouvant contribuer à l'adoption et au maintien de l'exercice est l'aspect de la perception de soi physique, l'identité athlétique d'un individu (i.e. la perception de soi-même en tant que personne qui participe à des activités physiques sportives, activités physiques artistiques, ou en tant que personne qui ne le fait pas) (Swarm Jr, 1983). C'est-à-dire que la perception de soi-même et les efforts actifs déployés pour vérifier cette perception de soi

peuvent aider à expliquer le maintien réussi de l'exercice régulier dans le temps, ou l'échec de l'instauration d'un programme d'exercice ou de l'activité physique artistique (Anderson, 2004). Dans des domaines de plus en plus spécifiques, tels que la conception de soi propre à l'exercice, au sport et à l'activité physique artistique, il est possible de décrire plusieurs identités définies par des attributs spécifiques (par exemple, sportifs) ou des rôles sociaux (e.g. coureur, danseur, acrobate, athlète, artiste...) (McCall & Simmons, 1966 ; Stryker & Serpe, 1982 ; Stryker & Statham, 1985).

Les chercheurs qui étudient les paramètres des compétences physiques dans les arts de la scène ne s'intéressent pas spécialement aux facteurs de la personnalité, et ceux qui s'intéressent aux composantes de la personnalité des artistes interprètes ne s'intéressent pas à leurs prouesses physiques. Dans toutes les études existantes traitant des blessures chez les circassiens, aucune ne s'est intéressée à la relation entre la charge de travail, l'approche psychologique vis-à-vis de l'activité circassienne et l'occurrence des blessures pendant les séances de spécialités chez les étudiants artistes.

III. Problématique et hypothèses

Dans la présente étude, l'objectif est d'investiguer les blessures chez les étudiants artistes du CNAC, en fonction de leurs temps d'engagement effectif et de leurs périodes de repos durant les séances de spécialités, de l'évolution de leur force contractile pendant ces séances et de leurs approches psychologiques vis-à-vis de leurs activités de prédilection. Cette investigation élargira nos connaissances sur la force, le conditionnement, la condition physique et l'état psychologique de l'étudiant artiste du cirque. Cela nous permettra de concevoir les programmes d'optimisation des performances et de prévention des blessures les plus appropriés pour préserver la santé des artistes. Nous émettons alors les hypothèses suivantes : 1) plus le temps d'engagement effectif pendant la séance de spécialité est bas, plus le nombre de blessure est

élevé ; 2) la force contractile est moins importante à la fin des séances de spécialités ; 3) l'état d'esprit déterminant l'approche à l'activité physique artistique est en relation avec le taux de blessures. Nos objectifs étaient donc 1) d'établir le rapport des blessures, 2) de quantifier le temps d'engagement effectif et les périodes de repos pendant les séances de spécialités et de prospecter leurs relations avec les blessures, 3) d'étudier l'évolution de la force contractile pendant les séances de spécialités et 4) de déterminer si l'approche psychologique vis-à-vis des activités physiques artistiques pratiquées est en relation avec le taux de blessures.

IV. Méthode

1. Sujets

Trente et un adultes (14 femmes et 17 hommes, $22,5 \pm 2$ ans, $170 \pm 6,4$ cm, $64,5 \pm 7,5$ kg) inscrits au CNAC (17 en DNSP 2 et 14 en DNSP 3) en bonne santé ont participé volontairement à cette étude. Ces étudiants artistes ont été divisés en deux groupes : 15 aériens (Trapèze ballant, Trapèze fixe, Voltigeurs, Mât Chinois, Tissus aériens, Sangles aériennes, Corde lisse, Corde volante) et 16 non-aériens (Banquine, Portés acrobatiques, Roue acrobatique, Acrobatie, Jonglage acrobatique, Acrobatie sur cycle).

2. Protocole expérimental

La réalisation du bilan des blessures s'est déroulée comme suit. Au cours d'un entretien individualisé, chaque étudiant artiste des deux promotions, en s'appuyant visuellement sur un calendrier, faisait un retour rétrospectif sur les blessures qu'il avait subi le long de l'année 2016. Il précisait le mois de la blessure, son emplacement anatomique, l'activité et le moment de la pratique qui l'a causé, la durée de la période de repos due à la blessure et la durée de la persistance de la douleur. Ces informations étaient vérifiées et confirmées par le dossier de l'historique des blessures enregistré dans la base de données du CNAC.

Avant le commencement des séances de spécialités, juste après l'échauffement spécifique et au moment de l'arrêt de la séance, une mesure de la force de préhension (FP) (droite et gauche) a été réalisée (dynamomètre GRIP-D, TAKEI 5001 Physical Fitness Test). La contraction maximale volontaire (CMV) du muscle quadriceps (jambes droite et gauche) a été évaluée à partir d'un système composé d'un dynamomètre S 3140 Load Cell-500kg. Cette mesure a été effectuée aux mêmes moments de la séance que la FP mais à des jours différents.

Des observations des séances de spécialités ont été effectuées et le temps d'engagement effectif (TEE) que passait l'étudiant artiste sur l'agrès et les périodes de pause ont été retenues et quantifiées durant ces séances à l'aide d'un chronomètre. À la fin de chaque séance, nous avons demandé à l'enseignant référent si cette séance était typique de ce qui pouvait se dérouler normalement et fréquemment dans la majorité des séances et si elle était représentative pour être retenue comme séance témoin.

Pour le côté psychologique et l'approche qu'ont les étudiants artistes envers leurs activités et les performances physiques artistiques qu'ils effectuent le long de leurs journées, six jours sur sept, nous leur avons posé la question suivante : « Est-ce que vous vous considérez comme une personne sportive ou non ? » en leur laissant la possibilité de répondre « Oui je me considère totalement sportif / sportive », « Non, je ne me considère pas comme sportif / sportive » et ils développaient alors comment ils se considéraient ou « Je me considère à moitié sportif / sportive et à moitié artiste ».

3. Traitement statistique des données

Toutes les données sont présentées sous forme de moyenne \pm écart type et/ou en pourcentage. L'hypothèse de la normalité et de la sphéricité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk. Toutes les données suivent une loi normale. Pour étudier la différence d'évolution de la force contractile entre le groupe ayant le TEE faible (groupe 1), le groupe avec le TEE moyen (groupe 2) et celui avec le TEE élevé (groupe 3) une ANOVA à un facteur a été utilisée. Le test

T pour échantillons indépendants a été déployé pour traiter l'évolution de la force contractile :

- 1) avant et après les séances de spécialités, entre le groupe des étudiants artistes qui se considéraient comme sportifs et le groupe de ceux qui se considéraient comme non-sportifs et
- 2) entre les étudiants artistes aériens et non-aériens.

Des tableaux croisés dynamiques ont été utilisés pour classer le temps d'engagement effectif, le nombre des blessures et la réponse à la question « sportif ou non sportif ». Les relations de dépendance entre ces variables deux par deux ont été étudiées à l'aide du test du Khi-deux. Pour prospecter qui sont les étudiants artistes les plus touchés par les blessures parmi ceux qui ont répondu à la question comme sportif, artiste ou à moitié sportif à moitié artiste, le Wald–Wolfowitz Runs Test a été utilisé étant donné que le test Shapiro-Wilk a démontré que ces données ne suivent pas la normalité. Le logiciel Statistica (version 8) a été utilisé pour effectuer tous ces tests.

V. Résultats

1. Temps d'engagement effectif vs. temps de récupération (séances de spécialités)

En termes de quantification des temps d'engagement effectif (TEE) et des temps de repos durant les séances de spécialités, concernant les pratiquants du Mât chinois, des Sangles aériennes, de la Corde lisse et du Tissu aérien (groupe 1), le temps de repos dépasse les 45 minutes pour des séances d'une heure et demie et le temps passé sur l'agrès ne dépasse pas les 15% du temps total de la séance. Toute période de 4 à 5 minutes d'activité était suivie d'une période de 10 à 12 minutes de repos, souvent associée à des étirements (figure 4). Les Acrobates, l'Acrobate jongleur, les spécialistes des Portés acrobatiques, de Portique Coréen et de Bascule-Banquine (groupe 2) avaient en moyenne un temps d'engagement effectif quasi égal à leurs temps de récupération, temps associé aux consignes de l'enseignant (45 à 50 minutes de temps d'engagement pour 40 à 45 minutes de repos, en moyenne, pour une séance d'une heure et

demie) (figure 5). Pour les disciplines telles que le Trapèze ballant, le Trapèze fixe, la Corde volante et la Roue Cyr (groupe 3), le fait que l'agrès soit situé à une hauteur très élevée du sol (sauf pour la Roue Cyr) obligeait les spécialistes de ces disciplines à récupérer sur l'agrès et à reprendre rapidement l'exécution de leurs figures, d'où leur dépassement des 65% du temps d'engagement moyen de la totalité de la séance, qui dure une heure pour ces activités (figure 6). Les seules étudiantes artistes pour qui nous avons constaté un temps d'engagement sur leurs agrès allant jusqu'à 80% (séances d'une heure et demie) étaient la spécialiste du fil et l'acrobate sur cycle. Ces deux dernières n'ont pas été considérées comme un groupe et n'ont pas fait partie de la mise en relation entre le temps d'engagement effectif et l'approche psychologique à l'activité physique circassienne.

En tenant compte du classement des étudiants artistes en tant qu'aériens et non-aériens, nous constatons que 10 aériens sur 15 ont un temps d'engagement effectif faible, 1 moyen et 4 élevé. Pour les non-aériens aucun d'entre eux n'a de TEE faible, 11 sur 16 ont un TEE moyen et 5 élevé.

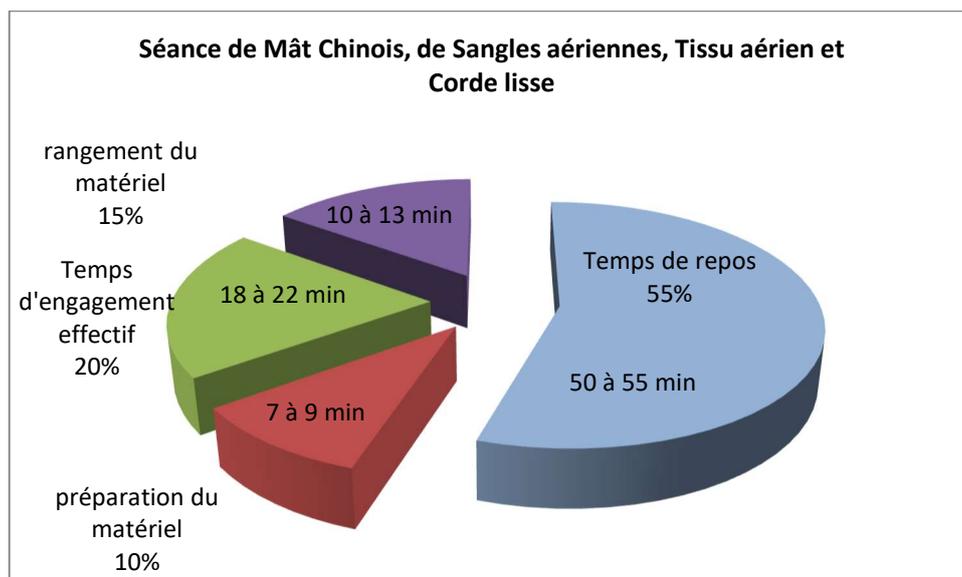


Figure 4 : Quantification du temps d'engagement effectif pendant les séances de spécialités « Groupe 1 »

Les séances de pratique duraient une heure et demie.

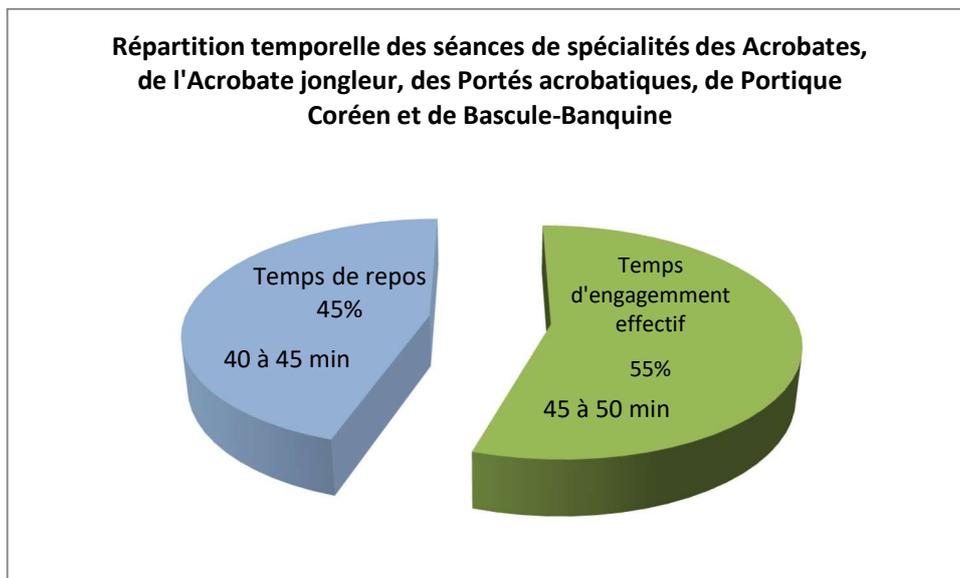


Figure 5 : Quantification du temps d'engagement effectif pendant les séances de spécialités « Groupe 2 »

Les séances de pratique duraient une heure et demie.

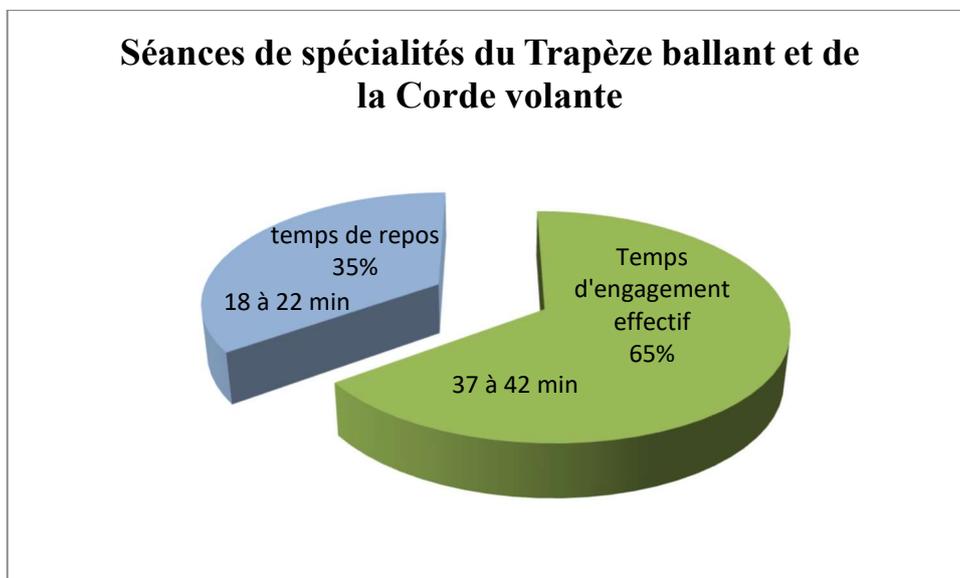


Figure 6 : Quantification du temps d'engagement effectif pendant les séances de spécialités « Groupe 3 »

Séance d'une heure.

2. Relation entre la réponse à la question « Est-ce que vous vous considérez comme sportif ou non- sportif (sportive) ? » et le nombre de blessures

À la question « Est-ce que vous vous considérez comme une personne sportive ou non ? », 18 étudiants artistes ont répondu « Non je ne me considère pas comme sportif (sportive) » et ont répondu « Je me considère juste artiste ». Parmi ces derniers, 15 ont été blessés et nous avons enregistré chez eux 35 blessures. Neuf étudiants artistes ont répondu à la question « Je me considère purement sportif (sportive) ». Parmi eux, 6 ont été blessés et 9 blessures étaient retenues chez eux. Les quatre derniers étudiants artistes ont répondu à la question par « Je me considère à moitié sportif (sportive) et à moitié artiste », 3 d'entre eux ont été blessés et nous avons enregistré chez eux 6 blessures.

Le test du Khi deux a montré que la variable « être blessé » et la variable « réponse à la question est-ce que vous vous considérez comme sportif ou non » sont deux variables indépendantes ($p=0,61$; $p > 0,05$). Cependant en se basant sur la courbe de tendance des résultats du Wald-Wolfowitz Runs Test (non-sportif : $1,94 \pm 1,7$, sportif : $1 \pm 1,1$; $p = 0,07$) nous avons pu constater que ceux qui se considéraient comme non sportifs (sportives) et justes artistes sont plus blessés que ceux qui se considéraient comme purement sportifs (sportives).

En considérant les étudiants artistes comme aériens et non-aériens, nous notons que 10 parmi les 15 aériens se considèrent comme non-sportifs, deux seulement comme sportifs et trois comme à moitié artistes à moitié sportifs. Les 10 aériens se considérant comme non-sportifs sont ceux qui ont le temps d'engagement effectif le plus faible et le taux de blessures le plus élevé en se partageant 19 blessures contre 3 pour les 5 étudiants artistes aériens restant.

Les 16 non-aériens sont répartis également entre sportifs et non-sportifs. Ceux parmi eux qui se considèrent comme non-sportifs se partagent 19 blessures et les sportifs 9 blessures.

3. Relation entre le temps d'engagement effectif, se considérer comme sportif ou non-sportif et le nombre de blessures

Le groupe 1, regroupait ceux qui avaient le temps d'engagement effectif le plus faible pendant les séances de spécialités (15% de la totalité de la séance). Neuf étudiants artistes sur 10 parmi eux ne se considéraient pas du tout comme sportif/sportive mais uniquement comme artiste. Un seul se considérait comme à moitié sportif et à moitié artiste et personne ne se considérait comme sportif. Dans ce groupe nous avons enregistré 19 blessures.

Le groupe 2 rassemblait ceux qui avaient un temps d'engagement effectif moyen égal au temps de récupération (55% de la durée totale de la séance) et était divisé en 6 étudiants artistes qui se considéraient comme sportifs (sportives) et 6 non sportifs qui se considéraient juste comme artistes. 20 blessures ont été enregistrées chez ces 12 étudiants artistes. Au sein de ce même groupe parmi les 6 sportifs (sportives), 3 étaient blessés se partageant 6 blessures, par contre les 6 non sportifs (sportives) étaient tous blessés en se répartissant 14 blessures.

Le groupe 3 était composé de ceux qui avaient un temps d'engagement effectif élevé (65% de la totalité de la séance) avec 3 étudiants artistes se considérant à moitié artistes à moitié sportifs, 2 se considérant comme sportifs et 2 se considérant comme artistes. Cinq parmi eux ont été blessés en se partageant 7 blessures.

Le test Khi deux nous a permis de détecter une relation de dépendance entre le temps d'engagement effectif et le fait d'être sportif, artiste et moitié moitié ($p = 0,029$). Ceux qui se considéraient comme non sportifs (non sportives) avaient le temps d'engagement effectif le plus faible. Le même test statistique a démontré que le temps d'engagement effectif et le nombre de blessures enregistré par groupe sont deux variables indépendantes ($p = 0,94$).

4. Forces contractiles avant et après les séances de spécialités

La force de préhension (FP) au début et à la fin des séances de spécialités présente des différences significatives entre les étudiants artistes qui ont un temps d'engagement effectif faible et ceux qui ont un temps d'engagement effectif moyen dans les deux cas de figures (FP groupe 1 début de la séance : $382,46 \pm 98$ N ; FP groupe 2 début de la séance : $500,14 \pm 117,7$ N ; $p = 0,05$; FP groupe 1 fin de la séance : $372,65 \pm 98$ N ; FP groupe 2 fin de la séance : $519,75 \pm 117,7$ N ; $p = 0,03$). Nous n'avons pas observé de différence significative entre la FP du groupe 1 et celle du groupes 3 ($p > 0,05$) ni entre celle du groupe 2 et celle du groupe 3 ($p > 0,05$). La FP n'a pas non plus montré de différence significative entre les sportifs et les non-sportifs au début et à la fin des séances de spécialités (FP non-sportifs début de la séance : $431,5 \pm 78,4$ N ; FP sportifs début de la séance : $441,3 \pm 137,3$ N ; $p > 0,05$; FP non-sportifs fin de la séance : $441,3 \pm 107,9$ N ; FP sportifs fin de la séance : $441,3 \pm 137,3$ N ; $p > 0,05$).

La force de préhension au début et à la fin des séances représente des différences significatives entre les étudiants artistes aériens et les étudiants artistes non-aériens dans les deux cas de figures (FP aériens début de la séance : $382,46 \pm 78,4$ N ; FP non-aériens début de la séance : $509,9 \pm 98$ N ; $p = 0,002$; FP aériens fin de la séance : $382,4 \pm 88,2$ N ; FP non-aériens début de la séance : $509,9 \pm 98$ N ; $p = 0,001$). Contrairement à la FP, la CMV ne montre pas de différence significative entre les deux groupes ni au début ni à la fin des séances (CMV aériens début de la séance : $427,49 \pm 131,56$ N ; CMV non-aériens début de la séance : $520,27 \pm 243,29$ N ; $p > 0,05$; CMV aériens fin de la séance : $411,95 \pm 128,98$ N ; CMV non-aériens fin de la séance : $490,29 \pm 231,56$ N ; $p > 0,05$).

Les mesures de force de préhension moyenne des deux mains ont montré une augmentation de la force chez plus de la moitié des étudiants artistes (toutes disciplines et groupes confondus) entre le début des séances de spécialités juste après échauffement et la fin des séances.

VI. Discussion

Le but de cette étude était d'obtenir les meilleures informations sur les blessures subies par les étudiants artistes du Centre National des Arts du Cirque de Châlons-en-Champagne et de rechercher une relation prospective entre ces blessures, le temps d'engagement effectif pendant les séances de spécialités et l'état psychologique de l'approche vis-à-vis de l'activité circassienne. Cette investigation nous permettra de mettre en place les programmes de prévention des blessures les plus appropriés aux spécificités des activités circassiennes.

Plusieurs causes peuvent être avancées dans la survenue des blessures dans le domaine des activités circassiennes. Les plus fréquentes sont les facteurs d'ordre physiologiques, les facteurs psychologiques, les facteurs techniques, les facteurs extérieurs inhérents au matériel ou à la parade et les facteurs dus à une préparation insuffisante et/ou inappropriée de son corps à l'action. En explorant et agissant sur certains de ces facteurs nous pouvons prévenir les blessures, diminuer leurs apparitions et minimiser leurs sévérités. Dans cette investigation nous nous sommes focalisés sur l'un des facteurs physiologiques (la charge de travail) et l'un des facteurs psychologiques (l'approche psychologique vis-à-vis de l'activité).

1. Temps d'engagement effectif vs. temps de récupération durant la séance de spécialité

Les praticiens du Mât chinois, des Sangles aériennes, de la Corde lisse et du Tissu aérien, durant leurs séances de spécialités, ont très peu de temps d'engagement effectif sur l'agrès comparativement aux périodes de récupération qui durent longtemps et qui ressemblent plus à des périodes de retour au calme. Ces périodes de pause, pour le groupe 1, sont souvent effectuées passivement dans la position debout et majoritairement associées à des étirements passifs statiques et de longue durée juste pour les membres supérieurs et inférieurs. Dans nos résultats nous avons constaté, premièrement, que presque la totalité des étudiants artistes (90%)

de ce groupe se considéraient comme pas du tout sportifs (sportives) mais juste artistes vis-à-vis de la spécificité de leurs activités physiques. Deuxièmement nous avons constaté qu'ils ont une force contractile significativement inférieure à celle du groupe 2. En ce qui concerne les Acrobates, l'Acrobate jongleur, les spécialistes des Portés acrobatiques, de Portique Coréen et de Bascule-Banquine (groupe 2), ceux parmi eux qui ne se considéraient pas comme sportifs (sportives) étaient tous blessés et avaient presque deux fois et demie le nombre de blessures de ceux qui se considéraient comme sportifs (sportives) dont seule la moitié était blessée. Le groupe 2 est celui qui contient le plus grand nombre d'étudiants artistes se considérant comme sportifs (sportives) et ce sont ceux qui ont le plus faible taux de blessures et la plus grande force contractile.

L'augmentation de la force contractile chez plus de la moitié des étudiants artistes à la fin des séances de spécialités peut s'expliquer par le fait que les étirements passifs, statiques et de longue durée, avant une performance explosive, en l'occurrence dans notre étude pendant les périodes de récupération passive dépassant les 5 minutes, agissent sur la contractilité musculaire en diminuant la force isolée et la puissance (Shrier, 2004). Les étirements passifs, statiques et de longue durée qu'ils pratiquent pendant leur récupération induisent un refroidissement musculaire et peuvent constituer une gêne à la circulation sanguine (Alter, 2004). Halliwill et al. (1996) ont constaté que la résistance périphérique totale et la résistance vasculaire dans la main et dans le mollet pendant la mesure de la force maximale changent en parallèle, démontrant que ce qui se produit dans la main et dans la partie inférieure de la jambe reflète effectivement ce qui se produit de manière systémique dans la majorité des muscles pendant l'exercice. Halliwill et al. (1996) ont conclu que les changements neuronaux et vasculaires régionaux, sous-jacents à une vasodilatation après l'exercice, sont susceptibles d'avoir une signification fonctionnelle dans la régulation vasculaire sympathique uniquement au niveau des muscles squelettiques, induisant en eux des altérations fonctionnelles importantes sur

l'hémodynamique systémique. Le muscle squelettique peut recevoir jusqu'à 88% du flux sanguin systémique pendant l'exercice. Les changements du flux sanguin dans le muscle squelettique au repos peuvent affecter profondément la pression artérielle systémique qui à son tour est capable d'induire des dommages tissulaires pouvant causer des blessures dans le cas d'absence de préparation et de modulation à l'effort (Rowell et al., 1972 ; Rowell, 1993). Ce déficit de force contractile commence à être récupéré après 10 à 15 minutes d'activité pratiquée (Mizuno et al., 2013) en fonction des caractéristiques musculaires de chaque étudiant artiste. Par conséquent, on peut constater à travers ces résultats que plus de la moitié des étudiants artistes passent leurs séances de spécialités à rattraper un déficit de force dissipé par la mauvaise gestion de son temps de récupération et des pratiques qui lui sont associées.

Les variables temps d'engagement effectif, approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique et évolution de la force contractile et ses variations entre les groupes, étudiées séparément et indépendamment, ne semblent pas avoir une relation pertinente avec le nombre des blessures subies par les étudiants artistes et leur causalité. Toutefois, en étudiant la problématique autrement et en associant ces trois variables ensemble, notamment en tenant compte de la relation de dépendance statistiquement significative entre les deux premières variables, nous constatons que ceux qui ne se considéraient pas comme sportifs (sportives) ont le temps d'engagement effectif le plus bas, la force contractile la plus faible et le taux de blessure le plus élevé. De ces faits nous allons discuter ces variables individuellement et combinées dans une approche globale.

Face à un temps d'engagement effectif faible, les étudiants artistes non sportifs (non sportives) possèdent un temps de récupération très long et inapproprié. Même s'ils visaient une récupération complète après chaque figure, une période de repos de 3 à 5 minutes serait suffisante (Richmond & Godard, 2004). Cependant, des périodes de repos dépassant 10 minutes sont susceptibles d'induire un retour au calme quasi complet conduisant à un refroidissement

musculaire nécessitant par la suite un échauffement et une réactivation cardiorespiratoire. Un muscle froid est moins performant et plus enclin aux blessures et aux traumatismes (Fradkin et al., 2010) notamment quand il est sollicité dans des performances explosives telles qu'exécutées dans les activités circassiennes. La pression artérielle est sans doute la variable cardiovasculaire la plus normalisée, mais il y a une réduction soutenue de la pression artérielle après un exercice du corps entier de durée et d'intensité modérées. Ce changement hémodynamique a été désigné sous le nom d'hypotension post-exercice (MacDonald, 2002 ; Halliwill et al., 2013) et a été observé après des exercices d'aérobic et de résistance. Des situations telles que la récupération passive en position verticale combinée à des étirements passifs, statiques et de longue durée, fréquemment observées chez le groupe 1, ont tendance à favoriser la perte de la pompe musculaire face à l'accumulation gravitationnelle du sang dans les membres dépendants réduisant ainsi le retour veineux, la pression veineuse centrale et entraînant une hypotension sévère et une syncope (Halliwill et al., 2000 ; Romero et al., 2017). Une syncope peut être très légère et ne pas induire de perte de connaissance mais une perte d'attention ou un vertige qui seront à leur tour des facteurs de risque de blessures pour l'exercice ou l'enchaînement à réaliser après cette période de récupération.

2. Relation entre le temps d'engagement effectif, se considérer comme sportif ou non sportif et le nombre de blessures

Statistiquement, l'approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique influence l'optimisation du temps d'engagement effectif avec une relation de dépendance significative et semble être un facteur déterminant dans l'apparition des blessures pendant les séances de spécialité. Comme précédemment cité dans l'introduction, dans le domaine de la conception de soi propre à l'exercice, au sport et à l'activité physique artistique, il est possible de décrire plusieurs identités définies par des attributs spécifiques (e.g. sportif) ou des rôles sociaux (e.g. artiste) (Marchant-Haycox & Wilson, 1992). Cette identité sportive comprend cinq dimensions

corrélées (Anderson, 1996). L'approche psychologique vis-à-vis de l'activité des étudiants artistes se considérant comme non sportifs est déterminée par les trois dernières dimensions de l'identité corrélées par Anderson (1996). Dans la première dimension, la personne évalue les informations sur son apparence physique, de façon à ce que l'apparence fournisse des signes et des emblèmes pour dire aux autres qui elle est (Swarm Jr, 1983). L'apparence fournit également des informations à soi-même. Les personnes classées sous cette identité estiment avoir l'air en bonne forme physique. Dans notre étude, ceux qui ne se considèrent pas comme sportifs s'inscrivent dans cette identité et ne cherchent pas à développer leurs performances. Ce qui compte pour eux c'est l'esthétique corporelle. Ceci se confirme par le fait qu'ils ont une force contractile inférieure à ceux qui se considèrent comme sportifs, ce qui reflète leur condition physique moindre étant donné que la force de préhension est représentative de la totalité de la force contractile générale (Halliwill et al., 1996). Dans la deuxième dimension, l'individu est introverti, en permanence dans l'auto-évaluation et dans la recherche des contrôles environnementaux et sociaux permettant la facilité et/ou la garantie de l'activité (Swarm Jr, 1983). Cette dimension de l'identité rend les étudiants artistes moins investis physiquement dans l'activité physique artistique et plus distraits, donc plus sujets aux blessures et aux accidents. Dans la troisième dimension, en se basant sur les idées instruites par Cooley (1902) et Mead (1934) voulant que les gens développent des autodéfinitions à partir d'interactions sociales, le soi évalue le niveau de soutien qu'il reçoit des autres en tant qu'artiste ou exécutant de l'exercice sportif. Ce soutien perçu peut être élevé ou faible, validant ou confirmant le soi sportif de manière potentiellement très positive ou très négative et, dans notre étude, les étudiants artistes non sportifs (sportives) l'ont exprimé dans le très négatif par leurs réponses « pas du tout sportifs (sportives) ».

Les étudiants artistes se considérant comme sportifs s'inscrivent dans les deux premières dimensions. Premièrement, ils reconnaissent que la compétence est « liée de manière mutuelle

et réciproque à l'estime de soi » de telle sorte qu'elle est intégralement liée à leurs attributs et le soi s'évalue sportivement compétent (Markus et al., 1990). Ceci se confirme par leur réponse « Je me considère sportif (sportive) à 100% » à notre question « Est-ce que vous vous considérez comme une personne sportive ou non ? ». Les personnes dont le niveau de compétence est élevé croient pouvoir participer et bien performer aux sports et aux activités physiques (ils sont éventuellement plus concentrés et moins enclins aux accidents). Deuxièmement, leur auto-évaluation et leur visibilité de l'identité évaluent leur niveau d'engagement et donnent de l'importance à l'exercice, au sport et à l'activité physique. Cette démonstration de l'importance d'engagement personnelle dans l'activité physique traduit la prééminence du soi sportif dans la hiérarchie identitaire permettant à cette catégorie d'individus de s'investir plus que les autres dans l'activité physique en tant que sportif cherchant à avoir la meilleure condition physique (Stryker & Serpe, 1982). Ce qui explique dans notre étude, en premier lieu, le meilleur temps d'engagement effectif chez les sportifs comparativement aux non-sportifs et en deuxième lieu leur supériorité dans la force contractile, qui reflète en partie leur meilleure condition physique.

3. Forces contractiles avant et après les séances de spécialités

Un temps d'engagement effectif adéquat et bien dosé combiné à une bonne gestion des périodes de récupération pour optimiser les séances de spécialités ont un impact direct sur la condition physique des étudiants artistes du cirque. Ces derniers facteurs associés à une considération psychologique de la charge de travail en tant qu'activité physique et non pas uniquement en tant qu'expression corporelle artistique peuvent avoir une incidence préventive directe sur la santé des étudiants artistes notamment sur la diminution d'apparition des blessures voire même sur leur sévérité.

Conclusion

Bien gérer les séances de spécialités ou de préparation de spectacles et avoir une bonne condition physique associée à la bonne approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique pourraient être des facteurs importants et une procédure efficace pour réduire les risques de blessures dans le domaine des activités circassiennes.

À défaut de pouvoir continuer nos travaux en collaboration avec le CNAC et ses étudiants artistes, et après une longue recherche de populations similaires qui s'est révélée infructueuse, nous avons choisi de nous rapprocher de pratiquants (boxeurs) de Muay Thai comme sujets d'étude pour analyser l'impact d'un mouvement induisant un choc sur les amplitudes extrêmes de la colonne vertébrale. L'objectif principal de cette dernière étude est l'obtention d'un outil de traitement automatique basé sur une méthode cinématique et géométrique traitant les mouvements à amplitudes maximales. Il sera utilisable pour toute activité physique sportive ou artistique, particulièrement pour déterminer les effets de chocs brutaux contre les agrès ou pendant les réceptions à la fin des figures durant les activités circassiennes et acrobatiques.

Chapitre IV :

Mise en place de modèle cinématique à base d'un système de capture de mouvement 3D et d'un traitement automatisé pour l'analyse des déformations du rachis

I. Introduction

Dans le cadre de la prévention des blessures et de l'optimisation biomécanique de la performance, nous avons comme objectif d'étudier la relation entre les chocs brutaux dus aux exécutions techniques des figures spécifiques sur le Mât Chinois ainsi que les impacts lors des réceptions corps/mât et les exigences mécaniques qui en découlent susceptibles d'induire des traumatismes sur la colonne vertébrale.

Dans l'impossibilité d'effectuer cette étude sur la population ciblée, nous avons cherché une autre population pouvant avoir, parmi ces pratiques, des chocs brutaux pouvant induire des contraintes mécaniques similaires sur le rachis, et nous nous sommes tournés vers des boxeurs de Muay-Thai. Le mouvement de coup de genou direct au niveau de l'abdomen ou du plexus solaire nous a semblé le plus pertinent pour cette étude.

II. Cadre théorique

Plusieurs études se sont intéressées à l'analyse du mouvement du coup de genou et de sa cinématique pendant l'exécution effectuée par le porteur du coup. Plusieurs recherches existantes ont démontré que le coup de genou est effectué à des vitesses angulaire et linéaire très importantes, induisant la défaite de l'adversaire quand il est bien exécuté et bien placé

(Chinnasee et al., 2018; Trial, 2013; Trial and Wu, 2014). Malgré ces résultats, aucune recherche ne s'est intéressée à l'impact qu'il peut avoir sur le receveur du coup de genou.

Trois types de coup de genou existent : le coup de genou latéral, le coup de genou en envol et le coup de genou droit. De ces derniers, le coup de genou droit (figure 7) est le plus populaire et le plus utilisé lors des combats (Chinnasee et al., 2018). Contrairement aux coups de genoux latéraux et en envol qui visent majoritairement la tête, les côtes, les cuisses et les hanches, le coup de genou droit vise le ventre et le plexus solaire.



Figure 7 : Illustration du coup de genou droit

1. Effet traumatique du coup de genou droit en Muay-Thai

Parmi les principales études traitant de l'impact du coup de genou en Muay-Thai et les traumatismes qu'il peut engendrer, celle de Schmitt et al. (2017) rapporte un cas de syndrome de la tête tombante dû à un traumatisme en hyper flexion forcée du rachis cervical suite à un coup de genou lors d'un combat chez une boxeuse thaïlandaise. Son adversaire lui a pris la tête avec les gants, lui imposant une hyper flexion cervicale brusque au moment de l'exécution du coup de genou. Cette étude décrit une impressionnante présentation clinique avec une

impossibilité de maintenir la tête à l'horizontale. Ils ont démontré que ce syndrome de la tête tombante, correspondant à un déficit d'extension spontanée de la tête, est en rapport avec une atteinte musculaire post-traumatique sans présence de fracture ou d'entorse. Toutefois, une symptomatologie neurologique sensitive avec association de paresthésies au niveau de l'hémiface gauche, de l'hémitrunc et des membres supérieur et inférieur gauches a été diagnostiquée. Cette étude de cas nous permet de constater que de potentiels risques et traumatismes peuvent survenir suite à ce genre d'encaissement de coup ou d'impacts similaires.

2. Méthodes d'évaluation de la flexibilité rachidienne

Différents modes d'évaluation in vivo concernant la flexibilité du rachis existent. Ces modes sont distincts les uns des autres autant dans la technique que dans le type d'information qu'ils fournissent. Parmi ces modes on peut noter l'imagerie avec ces différents types, les analyses radiologiques du profil rachidien, la cinétique et la cinématique.

Le « National Research Council » a déclaré que parmi les modèles les plus efficaces pour prédire le risque de lombalgie liée à la profession, on distingue principalement la cinématique du tronc pendant le travail (Council, 2001). Afin d'étudier en temps réel les effets mécaniques dus à un impact pendant un exercice et les déformations pouvant survenir sur le rachis dans sa globalité, nous avons opté pour la méthode cinématique et l'analyse du mouvement en trois dimensions.

Au cours des dernières décennies, l'analyse optoélectronique a été de plus en plus utilisée par les cliniciens et les chercheurs pour évaluer la base biomécanique de la posture et des mouvements humains. Des avancées techniques et procédurales ont permis de réduire les erreurs de mesure et ont donné lieu à des modèles biomécaniques appropriés et développés. Cependant, la modélisation de la colonne vertébrale reste un problème non résolu. Généralement le rachis dans sa globalité est biomécaniquement modélisé comme étant un seul

corps rigide ou une succession de plusieurs corps rigides (Chockalingam et al., 2008 ; Davis et al., 1991 ; Konz et al., 2006). Ces modèles sont incapables d'évaluer la posture et les mouvements globaux de la colonne vertébrale.

Ranavolo et al. (2013) ont développé un modèle cinématique global, considérant la colonne vertébrale comme un corps déformable continu, après avoir identifié le plus petit ensemble de marqueurs de surface permettant des mesures adéquates du mouvement du rachis à l'aide d'un système optoélectronique. Les allures de la colonne vertébrale obtenues par ce modèle ont été comparées et vérifiées en les superposant aux mesures radiographiques correspondant aux mêmes positions. Ranavolo et al. (2013) ont conclu que la meilleure interpolation polynomiale des coordonnées des marqueurs permettant de tracer la courbe externe du rachis en sa globalité dans le plan sagittal est une interpolation d'un polynôme de cinquième ordre appliquée à des jeux soit de 10 soit de 9 marqueurs correspondant aux apophyses épineuses de C7 – T2 – T3 ou C6 – T1 – T3 pour le segment cervico-thoracique supérieur, T5, T6, T7 et T8 pour le segment thoracique inférieur et en ce qui concerne le segment lombo-sacré, les marqueurs correspondant à L1, L3 et L5.

3. Rappels architecturaux et fonctionnels du rachis

Quelques rappels concernant la colonne vertébrale permettent de mesurer à quel point il s'agit d'une construction très spécifique et difficilement modélisable.

3.1. Caractéristiques générales

Le rachis (ou colonne vertébrale) est un élément axial du corps commençant à la base du crâne et s'étendant jusqu'au bassin. Il relie la tête aux membres supérieurs (par la ceinture scapulaire), et inférieurs (via la ceinture pelvienne) grâce à une structure osseuse constituée de l'empilement de 33 vertèbres maintenues par de nombreux muscles et ligaments lui conférant solidité et flexibilité, sur une longueur de 60 à 70 cm. Chaque vertèbre est composée d'os cortical et d'os

spongieux. L'os cortical est la partie dure et résistante de l'os, formant une coque externe mince autour de la vertèbre. L'os spongieux est moins dense que l'os cortical et est présent essentiellement dans le corps vertébral. Il est constitué de lamelles osseuses appelées trabécules, assimilables à des poutres. La répartition des trabécules dans le corps vertébral est hétérogène et isotrope (Gong et al., 2007). Leur organisation et leur orientation sont régies par les contraintes mécaniques exercées sur le corps vertébral (Wolff, 2012). Le rachis constitue le véritable pilier central du corps en permettant les stations érigée et assise, il concilie les fonctions de stabilité et de mobilité en alliant rigidité et souplesse.

3.2. Architecture du rachis

Les 33 vertèbres dissocient le rachis selon 5 segments : cervical, thoracique (ou dorsal), lombaire, sacral et coccygien.

Au niveau du cou, le rachis cervical est constitué de 7 vertèbres cervicales (numérotées de haut en bas de C1 à C7) unies par des disques intervertébraux et des ligaments très puissants.

Dans la région dorsale, le rachis thoracique est formé de 12 vertèbres thoraciques (numérotées de T1 à T12) situées derrière le thorax. Des côtes fixées en avant du sternum et constituant le thorax s'articulent à ces vertèbres dorsales.

Au niveau lombaire, le rachis est articulé par 5 vertèbres lombales (numérotées de L1 à L5).

La région sacrale est constituée de 5 vertèbres sacrées, soudées entre elles et constituant la partie postérieure du bassin (le sacrum).

Enfin 4 à 6 vertèbres coccygiennes, atrophiées et soudées entre elles, bâtissent la base du rachis (le coccyx).

Les corps vertébraux s'adaptent localement aux contraintes en augmentant leur surface et leur volume au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'étage lombaire. Ils ont un rôle de support

et peuvent soutenir des charges très importantes. Les articulations zygapophysaires sont constituées par les processus articulaires supérieurs et inférieurs unifiés par une capsule et de petits renforcements ligamentaires.

Un triple appui vertébral (corps et zygapophyses) et diverses structures fibreuses (annulus fibrosus, ligaments longitudinaux antérieur et postérieur, ligaments intertransversaires, ligaments jaunes, ligaments interépineux et surépineux) fournissent au rachis une stabilité intrinsèque.

Les muscles érecteurs permettent, par de faibles contractions, une adaptation continue de la posture : c'est la stabilité extrinsèque.

3.3. Biomécanique du rachis

Dans le plan sagittal, le rachis dessine quatre courbes naturelles de sens inverse, le rendant environ dix fois plus résistant aux forces de compression axiale que s'il était rectiligne (Denis, 1983 ; Mimura et al., 1994). De haut en bas on observe la lordose cervicale, la cyphose thoracique, la lordose lombaire et la cyphose pelvienne. La lordose est une courbe dont la concavité est postérieure ou dorsale tandis que la cyphose présente une concavité antérieure ou ventrale. La cyphose thoracique moyenne est mesurée entre T4 et L1 étant donné que les membres supérieurs masquent les vertèbres supérieures de cette région. Elle est d'environ 37°. La plupart des auteurs (Fradet, 2013 ; Garreau de Loubresse et al., 2005 ; Lamarre, 2008) fixent entre 20° et 52° la limite entre l'amplitude physiologique et celle pathologique. La lordose lombaire est mesurée entre L1 et L4, elle est de 40°. Pour cette courbe l'intervalle de données admissibles s'étend de 20° à 60°. Toutefois, les variations individuelles sont importantes et peuvent atteindre plus ou moins 10° dans chaque courbure sagittale (Garreau de Loubresse et al., 2005). Les zones « transitionnelles » situées à l'union de deux courbures de sens contraires

sont les plus exposées mécaniquement, ce qui explique par exemple la survenue plus fréquente des fractures à la jonction thoraco-lombaire.

Dans le plan frontal, le rachis est normalement rectiligne. Des repères palpatoires permettent d'identifier et de localiser ses différentes structures. Sur la ligne médiane, le processus épineux de C7 est saillant, facilement palpable. Celui de T3 est situé au même niveau que l'épine de la scapula. Celui de L4 est situé sur la ligne qui relie les 2 crêtes iliaques.

Au-delà de son rôle mécanique de stabilité et de mobilité, le rachis assure également une fonction neurologique en protégeant la moelle épinière au sein de son canal vertébral. La moelle épinière s'étend jusqu'à la première vertèbre lombaire puis se prolonge par un ensemble de nerfs appelé « queue de cheval » destinés aux membres inférieurs et au périnée.

3.4. Mobilité du rachis

De la tête (os occipital) au haut des fesses (sacrum), les mouvements du rachis se développent dans les trois plans de l'espace, ils sont la somme de mouvements intervertébraux d'amplitudes limitées, toutefois il existe des variations importantes entre les sujets et selon leurs âges.

Parmi les mouvements principaux du rachis on note que la colonne entière a, dans le plan sagittal, un degré maximal de flexion de 110° et un degré moyen d'extension de 35° , mais pouvant s'élever jusqu'à 140° pour les personnes hyperlaxes, notamment chez les gymnastes et les artistes de cirque tels les contorsionnistes.

Toujours dans le plan sagittal, on retiendra que le rachis cervical inférieur est la partie la plus mobile ; les amplitudes étant majorées par les mouvements des articulations crânio-vertébrales. La flexion atteint 40° et l'extension 60° dans cette région.

Aux niveaux thoracique et lombaire il est compliqué de chiffrer avec exactitude la part du mouvement revenant à chacun, sachant que les vertèbres T5 à T9 sont quasiment immobiles car

situées en regard du cœur. On peut toutefois estimer que sur le plan sagittal, au niveau thoracique, la flexion atteint 40° et l'extension 60°, au niveau lombaire la flexion représente 40° et l'extension 30°.

L'amplitude de mouvement du rachis est définie comme le déplacement maximal pouvant être atteint sans occasionner de lésions. La viscoélasticité est une autre caractéristique qui complique énormément l'évaluation des propriétés de la colonne vertébrale. Ce terme signifie que la réponse mécanique du rachis à une sollicitation varie en fonction de la vitesse du chargement qui lui est appliquée (Lamarre, 2008). Les articulations intervertébrales permettent au rachis de réaliser trois mouvements de rotations (flexion/extension, inflexion latérale, rotation axiale) et trois mouvements de translation (compression/traction, translation gauche/droite, translation avant/arrière). Dans le cadre de cette étude, seule la mobilité en rotation sera considérée. La mobilité intervertébrale, l'amplitude de mouvement entre deux vertèbres adjacentes, est très faible. Néanmoins, lorsqu'un segment vertébral est considéré, l'addition des petits mouvements intervertébraux dévoile une importante mobilité segmentaire (Lamarre, 2008). Ainsi, la mobilité rachidienne en flexion/extension est un mouvement de rotation avant et arrière dans le plan sagittal.

Les activités physiques et sportives peuvent causer plusieurs types de traumatismes au niveau de la colonne vertébrale. La description anatomique et biomécanique du rachis nous permettra de bien tenir compte de la spécificité de sa forme, de sa résistance et de sa capacité à faire face aux charges auxquelles il peut être soumis, de ses limites physiologiques et par la suite nous servir à mettre en place les outils les plus appropriés pour l'étudier lors de mouvements extrêmes.

III. Problématique

L'objectif de cette étude est de mettre en place une méthodologie expérimentale permettant d'analyse des mouvements du rachis en trois dimensions à travers un système optoélectronique, en utilisant le minimum de marqueurs placés sur le sujet à étudier. Le deuxième objectif est de développer un code informatique applicable sur toutes les analyses du mouvement, visant à étudier les déformations de la colonne vertébrale, qui se baseront sur la méthode qui sera mis en place en amont. Ceci construira un modèle cinématique et numérique qui nous permettra d'avoir une vision de la charge mécanique locale en se déplaçant le long des différentes parties du rachis qui sera considéré comme un corps unique déformable. Dans notre cas nous allons appliquer cette méthode non invasive afin d'investiguer l'effet d'un impact brutal, dû à un coup de genou droit au niveau de l'abdomen, dans une simulation de combat de Muay-Thai, sur les susceptibles déformations de la colonne vertébrale. Par la suite nous allons étudier les risques de blessures ou de microtraumatismes qui pourront surgir dans le cas de dépassements des niveaux de flexibilité tolérés des différentes régions du rachis. Nous émettons ainsi les hypothèses suivantes : 1) en se basant sur les résultats de Ranavolo et al. (2013), nous serons capable de modéliser la colonne vertébrale en trois dimensions comme un corps unique déformable et ceci pendant une performance physique quelconque en utilisant un minimum de marqueurs placés sur le sujet afin de lui permettre la fluidité de ses mouvements ; 2) lors d'un corps à corps pendant un combat de Muay-Thai, le coup de genou droit porté au niveau de l'abdomen sur un adversaire tenu fermement par l'arrière de la tête produit une hyper-flexion cervicale brusque pouvant dépasser les amplitudes physiologiques et capable de provoquer des séquelles autrement que musculo-tendineuses persistantes sur le long terme ; 3) le coup de genou droit induit des déformations plus importantes aux niveaux moyen et inférieur du rachis thoracique que ce qu'il est capable de produire au niveau du rachis lombaire, potentiellement plus souple et ayant une plus grande amplitude en flexion.

IV. Méthode

1. Sujets

Deux Nak-Muay professionnels de niveau international en bonne santé, d'âges respectifs 31 et 23 ans, de masses 71 et 75 kg et de tailles 1,72 et 1,86 m ont participé volontairement à cette étude. Les sujets ont reçu des instructions écrites décrivant le protocole et les procédures expérimentales mais n'étaient pas au courant des objectifs spécifiques de l'étude et des hypothèses sous-jacentes. Un consentement éclairé des sujets a été obtenu conformément à la déclaration d'Helsinki pour l'expérimentation sur l'humain. Le Comité d'Éthique pour la Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (CERSTAPS) a approuvé l'étude.

2. Protocole

Une première séance a été programmée, au cours de laquelle les deux sujets se sont présentés afin de se familiariser avec le protocole expérimental, l'exécution technique des mouvements à analyser dans l'espace du laboratoire Performance, Santé, Métrologie, Société au sein de l'UFR STAPS de Reims. Au cours de la deuxième session, les participants ont été équipés avec des marqueurs sphériques réfléchissants passifs qui ont été positionnés sur les projections cutanées des repères anatomiques. Le participant qui devait porter le coup de genou, « sujet 1 (S1) », était équipé avec 57 mires placées selon le modèle *Biomech Markerset (57)* préprogrammé dans le logiciel de capture de mouvement *Motive Body* (Annexe 3). Ce modèle développé et validé par Leardini et al. (2011) se base sur les repères anatomiques permettant la modélisation du squelette et son suivi dans l'espace afin de créer un avatar. Pour reproduire la posture du rachis dans son ensemble comme un corps déformable, chez le receveur du coup de genou, « sujet 2 (S2) », un premier marqueur a été placé au niveau de son vertex, ensuite sur les projections cutanées de la sixième vertèbre cervicale (C6), au niveau thoracique sur la T1, T3, T5, T6, T7

et T8 et au niveau lombaire au niveau de la L1, L3 et L5. Afin de suivre le rachis en fonction des mouvements du corps du sujet, des marqueurs ont été positionnés aux niveaux des épines iliaques antérieures droite et gauche (EIAD et EIAG) et des épines iliaques postérieures droite et gauche (EIPD et EIPG), qui nous ont servi à créer notre repère local (figure 8). Le sujet 2 était également équipé d'un plastron renforcé en mousse dure d'une épaisseur de 12 cm au niveau de l'abdomen afin de diminuer la violence du coup et l'empêchant d'avoir mal au moment de l'impact.

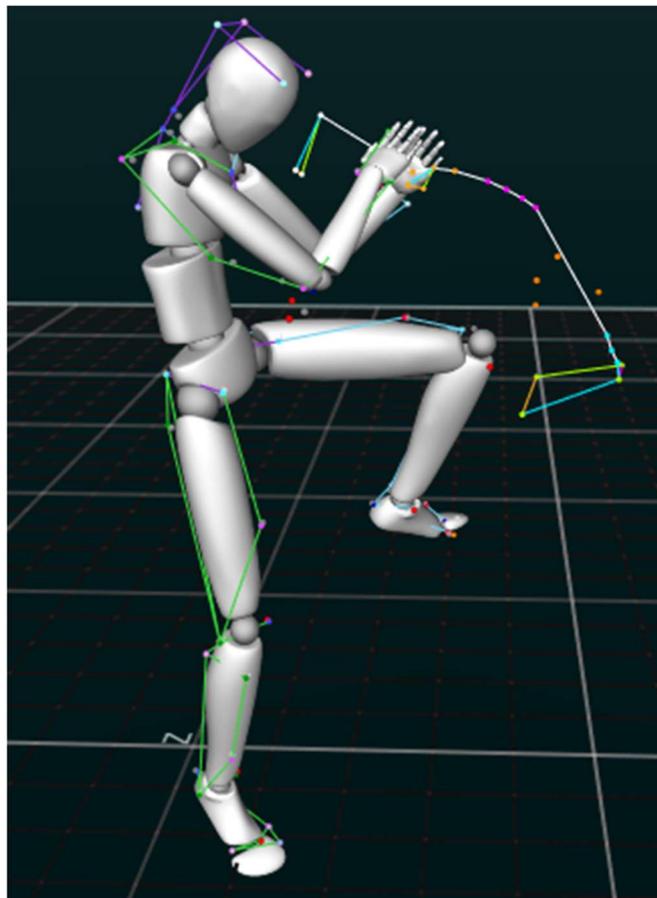


Figure 8 : Reconstruction de l'avatar du porteur du coup de genou et de l'allure du rachis et du bassin du receveur du coup de genou au moment de l'impact.

Par la suite, les deux participants ont bénéficié d'une période d'échauffement de 10 à 15 minutes consistant en des étirements et des coups de genoux dirigés par un entraîneur de Muay-Thai de niveau international qualifié. Après l'échauffement, l'attaquant a exécuté quelques frappes au

coup de genou droit, dans la position de départ du corps à corps en tenant S2 par la tête, avec son membre dominant dirigé vers une cible placée au centre de l'abdomen. Ces quelques frappes ont permis à l'entraîneur d'affiner l'exécution du bon geste afin d'obtenir le meilleur impact.

Un système optoélectronique à 16 caméras (Flex13, Optitrack) à une fréquence d'acquisition de 120 Hz a été utilisé pour effectuer les captures du mouvement.

Avant l'enregistrement du coup de genou et de son impact, S2 avait effectué cinq tâches qui ont également été enregistrées : 1) maintenir une position debout confortable qui sera appelée position neutre (il se tenait pieds nus avec les pieds parallèles, les bras le long du tronc, les talons espacés d'environ 20 cm et il avait la consigne d'être en apnée pendant les cinq secondes d'enregistrement) ; 2) exécuter une flexion complète du tronc (le sujet avait la consigne d'effectuer une flexion en partant d'une position debout neutre et de rapprocher au maximum son tronc de ses genoux. Au moment où il atteignait le maximum dans sa flexion, nous lui demandions de tirer sur le bas de ses tibias, de courber au maximum son dos et de maintenir cette position pendant trois secondes. Cet enregistrement sera appelé flexion maximale) ; 3) effectuer une extension complète du tronc (le sujet avait la consigne de se courber vers l'arrière, au moment d'atteindre son maximum nous lui demandions de pousser son bassin vers l'avant afin d'accentuer au maximum son extension et de maintenir cette position trois secondes. Cet enregistrement sera appelé extension maximale) ; 4) exécuter une flexion cervicale (le sujet avait comme consigne de basculer sa tête vers l'avant sans pencher son tronc, au moment où il atteignait son maximum nous lui demandions d'exercer une traction de sa tête vers le bas et de maintenir cette position deux secondes. Cet enregistrement sera appelé flexion cervicale maximale) ; 5) exécuter une extension cervicale en partant d'une position confortable neutre sans basculer son tronc vers l'arrière et de maintenir cette position deux secondes. Cet enregistrement sera appelé extension cervicale maximale.

Par la suite les deux sujets se sont positionnés au centre du champ d'enregistrement et plusieurs coups de genou ont été enregistrés avant que l'entraîneur présent sur place ne valide celui à analyser.

Tout au long de l'expérience un médecin du sport était présent et assurait la sécurité physique des participants.

3. Analyse des données

Le traitement des données cinématiques a été effectué à l'aide du langage de programmation Python (v3.8.2).

En complément du modèle de Ranavolo et al. (2013), nous avons choisi d'ajouter un marqueur au niveau du vertex afin de pouvoir reproduire la lordose cervicale, qui est d'après notre recherche bibliographique (Schmitt et al., 2017) la région la plus à risque et que nous devons étudier principalement.

Les cinq enregistrements effectués avec le sujet recevant le coup de genou nous ont permis de délimiter les amplitudes maximales volontaires du rachis dans son ensemble ainsi que pour la région cervicale. L'enregistrement dans la position anatomique la plus confortable (position neutre) nous a servi principalement à valider la reconstruction du rachis comme étant un corps entier déformable et à s'assurer de l'absence d'anomalies dans l'allure de la colonne vertébrale du sujet dans les plans frontal et sagittal.

Traitement automatisé :

Étape 1 : Chargement en mémoire des données cinématiques (tableau dans lequel les marqueurs sont organisés en colonnes, les instants acquis en lignes).

Étape 2 : Changement d'un repère global vers un repère local. Afin de pouvoir comparer les différents jeux de données et d'éliminer les mouvements parasites, nous construisons un repère

lié au bassin permettant le suivi du mouvement du rachis dans un repère local à la place du repère qui nous a servi à la calibration du système optoélectronique. En s'alignant sur les coordonnées des marqueurs positionnés aux niveaux des EIPD, EIPG et EIAD nous avons créé un trièdre dans lequel nous sommes en mesure d'exprimer les positions 3D des marqueurs étudiés dans le repère commun. L'origine « O » de ce repère est le centre du segment [EIPD ; EIPG]. Il est obtenu par l'équation :

$$O = \frac{(EIPG + EIPD)}{2}$$

L'axe X est aligné avec le segment [EIPD ; EIPG]. Le vecteur \vec{X} est obtenu avec l'équation :

$$\vec{X} = \frac{(EIPD - EIPG)}{\| EIPD - EIPG \|}$$

L'axe Y est « vertical » et perpendiculaire à l'axe X, suivant l'axe longitudinal ascendant. Il est obtenu via le produit vectoriel suivant :

$$\vec{Y} = \frac{(EIAD - EIPD) \wedge X}{\| (EIAD - EIPD) \wedge X \|}$$

L'axe Z est perpendiculaire à l'axe X horizontalement, suivant l'axe antéro-postérieur avec le sens vers l'avant. Le vecteur \vec{Z} est le produit vectoriel des deux vecteurs \vec{X} et \vec{Y} :

$$\vec{Z} = \vec{X} \wedge \vec{Y}$$

Nous obtenons le nouveau repère local (O, X, Y, Z), qui grâce à ses trois vecteurs nous a permis de calculer la matrice de passage, qui à son tour, par sa composante translation, nous a servi à ramener les points étudiés de l'origine du repère global vers l'origine du repère local. La composante rotation de la matrice de passage nous a permis l'alignement de tous les points avec le bassin.

Étape 3 : Modélisation polynomiale. Dans cette étape nous avons appliqué différentes interpolations à notre jeu de données afin de reproduire le rachis sous la forme du polynôme le plus réaliste. Comme nous avons ajouté un marqueur de plus au niveau du vertex par rapport au modèle de Ranavolo et al. (2013) et que nous démarrons le traçage de notre polynôme en partant de l'origine de notre repère local, nous avons commencé par effectuer une vérification des différents degrés d'interpolation possibles afin d'obtenir le polynôme le mieux adapté et permettant de calculer la meilleure courbe d'approximation dans toutes les positions étudiées dans notre analyse (position neutre, flexion et extension maximales volontaires du tronc, extension maximale volontaire du rachis cervical et le coup de genou). Après plusieurs tests nous avons pu constater que le degré de polynôme le plus adéquat permettant de reproduire le rachis dans son ensemble, dans le plan sagittal, en partant de l'origine du repère local jusqu'au vertex est de degré 5. Pour l'étude de la région cervicale, dans le plan sagittal, en se basant sur les coordonnées des marqueurs allant de T8 jusqu'au vertex, le degré approprié pour le polynôme est le degré 3.

À partir des coordonnées des points « Origine, L5, L3, L1, T8, T7, T6, T5, T3, T1, C6 et Vertex » et à l'aide de la méthode des moindres carrés, nous avons obtenu une excellente reconstruction réaliste (i.e. qui suit l'allure d'un rachis sain) du rachis dans son ensemble (figure 9) sous la forme d'un polynôme du 5^{ème} degré en minimisant l'erreur quadratique E :

$$E = \sum_{j=0}^K | p(x_j) - y_j |^2$$

Dans cette équation, notre inconnue est le polynôme. Nos données sont les abscisses de nos points (x_j), les ordonnées (y_j) et (K) est le nombre de points.

Nous avons modélisé cinq polynômes du 5ème ordre, qui ont été les piliers de notre analyse et la base de nos calculs. Le premier est celui de la position neutre ; nous téléchargeons les données depuis le fichier correspondant, nous appliquons la transformation des données dans le repère local, nous traçons le polynôme de degré 5 en nous basant sur la moyenne de toutes les lignes de jeux de données (frames) et, en parcourant la distance séparant deux marqueurs tous les millimètres le long du polynôme obtenu, nous avons calculé la courbure locale.

La courbure locale (K) permet de quantifier la déformation locale en calculant une quantité signée (+/-) correspondant à l'inverse du rayon de courbure (il faut imaginer un cercle tangent localement au polynôme appelé *cercle osculateur* et qui épouse au mieux la forme du polynôme au point étudié). L'équation permettant le calcul de la courbure locale est la suivante :

$$k = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Avec « y' » la dérivée du polynôme par rapport à « x » et « y'' » la dérivée d'ordre 2.

Pour tracer le deuxième polynôme représentant l'allure de la flexion maximale volontaire, nous chargeons du dossier de la flexion maximale les données des points allant de l'origine jusqu'au vertex de la frame correspondante à la position maximale, nous appliquons le changement du repère, et nous traçons le polynôme en prenant comme abscisses l'axe des Z et comme ordonnées l'axe des Y, vu que le polynôme est horizontal et non pas vertical comme pour la position neutre et les autres positions.

Ce même script a été appliqué de nouveau sur les mêmes données pour tracer tous les polynômes possibles du fichier flexion maximale, une première fois en prenant toutes les frames du début jusqu'à celle où le tronc bascule horizontalement. Pour ces polynômes les abscisses sont l'axe des Y, les ordonnées sont l'axe Z. Pour le reste des frames, nous avons inversé en

prenant l'axe des Z comme abscisses et l'axe des Y comme ordonnées. Ces polynômes nous ont permis d'évaluer les courbures tous les millimètres le long du rachis et nous ont servi à délimiter le minimum et le maximum de notre plage d'amplitude maximale volontaire.

Pour tracer le troisième polynôme concernant l'extension maximale volontaire, nous avons appliqué exactement les mêmes procédures que pour la flexion mais toujours en s'appuyant sur l'axe des Y comme abscisses et l'axe des Z comme ordonnées.

Pour tracer le quatrième polynôme représentant l'allure du rachis à la position juste avant le coup de genou, nous téléchargeons les données dans le fichier du coup de genou, nous appliquons le transfert des données dans le repère local, nous traçons le polynôme du 5^{ème} degré pour les points allant de l'origine du repère local jusqu'au vertex de la frame correspondante à l'instant repéré comme étant le début du mouvement (dans notre cas la frame 280), et nous finissons par calculer les rayons de courbures tous les millimètres le long du rachis.

Les valeurs maximales et minimales des courbes représentatives des rayons de courbures obtenues à travers les calculs, appliqués sur ces quatre polynômes, nous ont permis de déterminer le profil de la zone où les mouvements du rachis sont effectués dans des amplitudes dites sans risques.

Pour délimiter la plage de confort volontaire, nous avons calculé les minimas et les maximas des courbures des polynômes de la position neutre, de la flexion maximale volontaire, de l'extension maximale volontaire et de la position initiale juste avant le coup de genou. Etant donné que ces quatre polynômes n'ont pas la même longueur, leurs graphes des courbures n'ont pas non plus la même longueur, il a fallu alors les normaliser pour que la plage de confort ait le même début et la même fin. En tenant compte du fait que le rachis s'étire pendant la flexion et se comprime pendant l'extension, leurs polynômes et leurs graphes des courbures n'ont pas la même longueur que celles de la position neutre ; il était essentiel de normaliser l'élongation et

la compression en fonction de cette dernière. Afin d'obtenir le ratio nécessaire à cette normalisation, nous avons divisé la longueur de la courbe des courbures du polynôme de chacune des positions par celle de la position neutre. Pour tracer la plage de confort du mouvement délimité par les minimas et les maximas des courbures et pour que celles-ci aient la même longueur, nous avons multiplié chacune d'entre elles par le ratio lui correspondant.

Cette étape de normalisation a été effectuée à la fin de chaque script de chaque position (neutre, flexion, extension, position du départ du mouvement et le coup de genou). Elle nous a permis d'avoir une plage des limites maximales et minimales volontaires délimitée par des courbes ayant les mêmes longueurs.

Le cinquième polynôme tracé était celui correspondant aux déformations dues au coup de genou. Pour ceci nous chargeons les données du coup de genou, nous effectuons le transfert du repère, nous traçons toutes les frames et nous évaluons l'évolution de toutes les courbures dans la plage de confort.

Concernant les représentations des amplitudes maximales de la région cervicale, pour tracer la flexion cervicale maximale, nous chargeons les données dans le dossier correspondant, nous effectuons le transfert du repère, nous traçons un polynôme du 3^{ème} degré en se basant sur les coordonnées des marqueurs allant de T8 au vertex de la frame correspondant et en se déplaçant tous les millimètres entre chaque deux marqueurs successifs, nous générons une courbe représentative de l'évolution de la courbure dans cette région.

Pour tracer le polynôme et la courbe des courbures de l'extension cervicale maximale, nous appliquons les mêmes procédures que celles précédemment citées concernant la flexion cervicale maximale.

À la fin du script, nous imprimons les polynômes de la position neutre, de la flexion maximale, de l'extension maximale, de la flexion cervicale maximale, de l'extension cervicale maximale

et au moment de l'impact du coup de genou. Nous imprimons aussi la plage des limites maximales volontaires dans lesquelles nous faisons défiler la déformation due au coup de genou en termes de rayon de courbure et nous quantifions les déformations du rachis par région afin de pouvoir les étudier.

Tous les scripts composant notre code dans le détail et d'une manière globale sont détaillés dans l'annexe 4 de ce document.

V. Résultats

En entamant l'analyse de nos données issues des enregistrements tridimensionnelles, nous avons constaté que leur traitement dans le plan frontal n'était pas pertinent au regard des objectifs de notre étude. Ainsi, toute l'analyse des données a été effectuée dans le plan sagittal. Cependant l'analyse de l'allure du rachis dans le plan frontal nous a permis de vérifier sa droiture et l'absence de scoliose.

Les polynômes représentant le rachis dans les différentes positions à amplitudes maximales de mouvements volontaires nous ont permis d'avoir un aperçu sur les allures de la colonne vertébrale et de discerner l'évolution de leurs courbures dites normales (Figure 9). Après la vérification visuelle de la cohérence de ces allures en fonction des enregistrements 3D, nous avons affiché le polynôme correspondant à l'instant de l'impact du coup de genou parmi les polynômes des amplitudes maximales volontaires. Ceci nous a servi à comparer graphiquement l'évolution des courbures du rachis dues au coup de genou par rapport à celles des amplitudes maximales volontaires (Figure 10).

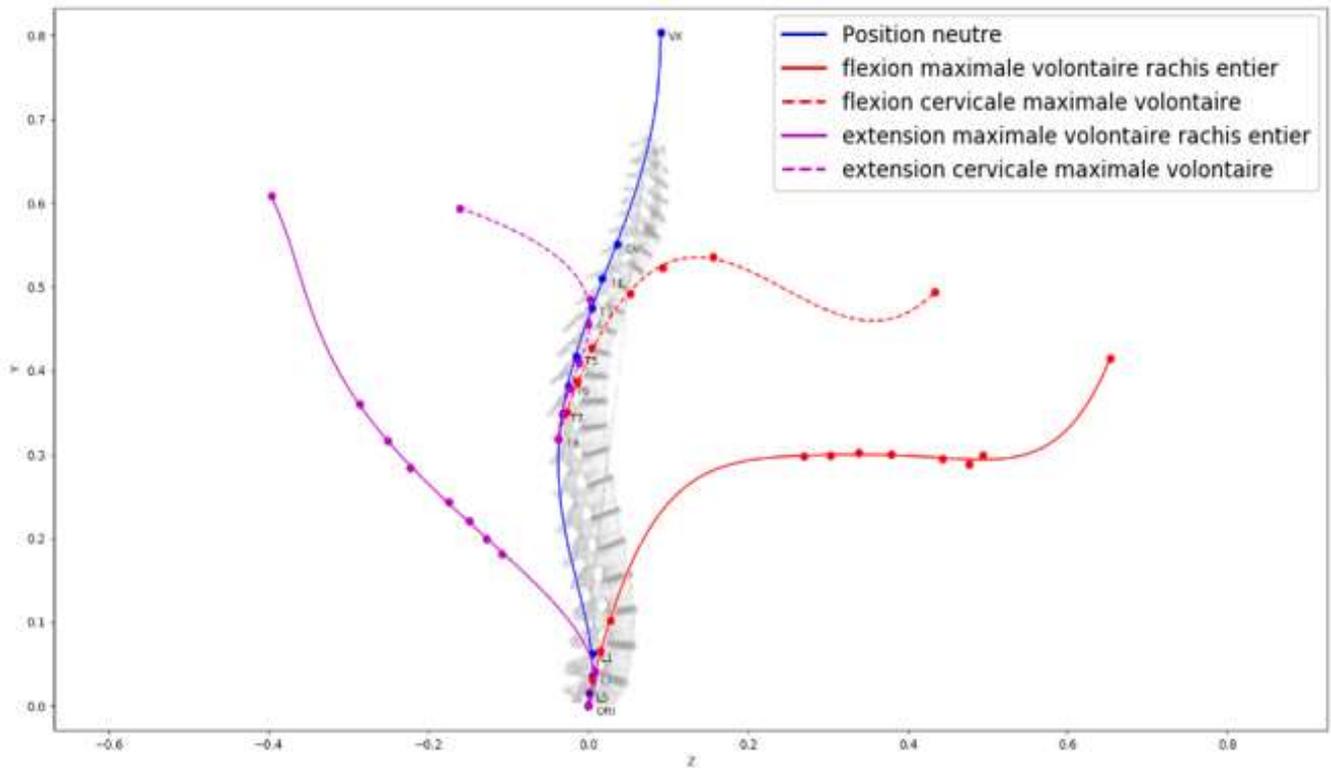


Figure 9 : Allures du rachis dans son ensemble et des régions cervicales, dans le repère du bassin, lors des amplitudes maximales volontaires des mouvements dans le plan sagittal.

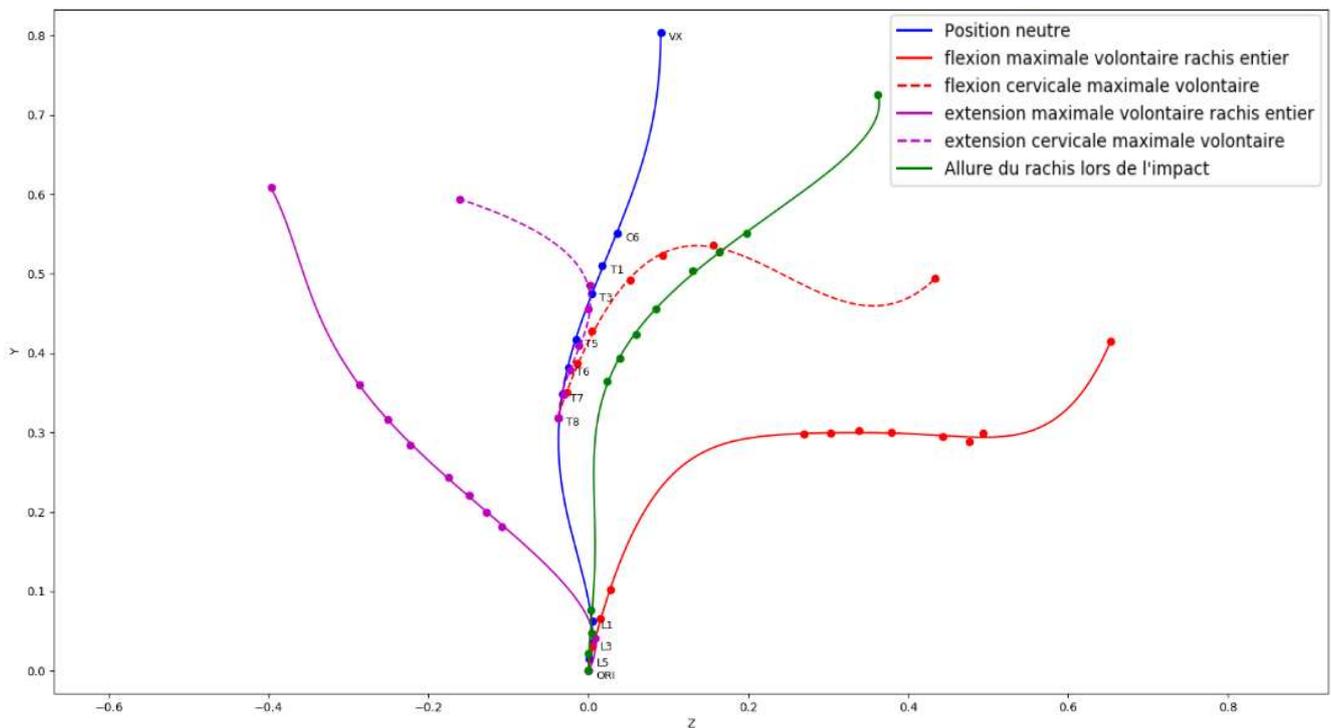


Figure 10 : Allures du rachis dans son ensemble, dans le repère du bassin, lors de l'impact du coup de genou par rapport aux amplitudes maximales volontaires des mouvements dans le plan sagittal.

Nous nous sommes basés sur ces différents tracés pour calculer et définir le profil de la plage délimitée par les amplitudes maximales volontaires des mouvements du rachis dans le plan sagittal (Figure 11). Dans cette plage nous avons fait défiler toutes les courbes des courbures concernant l'évolution des déformations du rachis, de l'instant juste avant le coup de genou jusqu'au moment où S2 reprend de nouveau une position neutre.

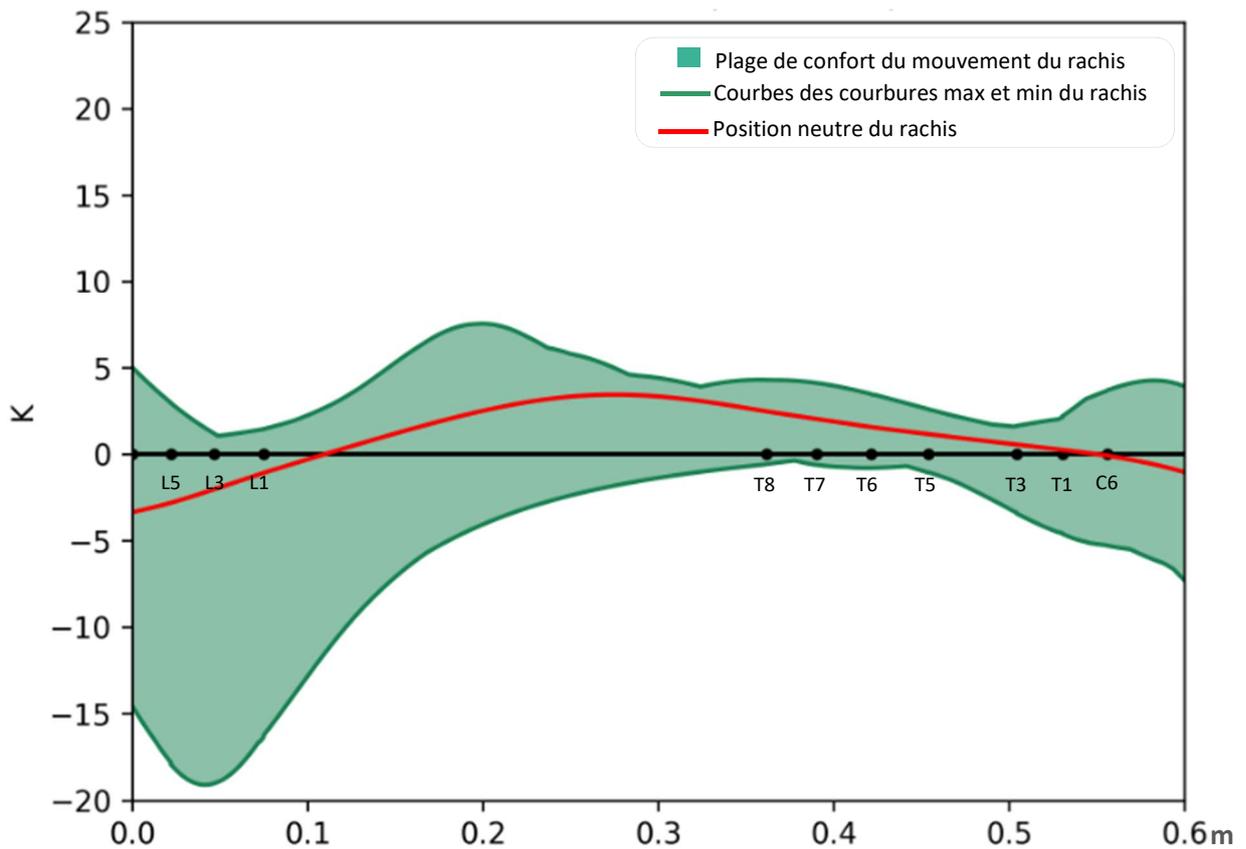


Figure 11 : Plage des amplitudes maximales volontaires des mouvements du rachis, dans le plan sagittal, exprimées en courbures locales (K) tous les millimètres.

Le suivi des évolutions des courbures locales du rachis, quantifiées en parcourant tous les polynômes représentatifs de la colonne vertébrale, millimètre par millimètre, au cours du mouvement du coup de genou, nous a permis d'évaluer les déformations dues à l'impact et à la propagation de son onde de choc subi par le rachis.

Au niveau de la région cervicale, les courbures correspondantes à tous les polynômes obtenus ont toutes été comprises entre une courbure $K = 1,3$ et $K = -2,4$ pour une plage d'amplitudes maximales volontaires de courbures pour le rachis cervical comprise entre $K_{\max} \approx 5$ et $K_{\min} \approx -7,5$. Aucun dépassement pour cette région n'a donc été identifié.

En ce qui concerne le rachis lombaire, nous avons constaté une évolution progressive des déformations, exprimées en courbures locales, largement supérieures à celles correspondantes aux mêmes points au niveau de la plage de confort. Ces déformations commençaient à l'instant où l'attaquant (S1) décollait son pied du sol et exerçait une traction au niveau occipital de l'arrière de la tête du receveur du coup (S2), en le faisant basculer vers l'avant et vers le bas. À cet instant la courbure locale du polynôme du coup de genou, juste au-dessous de L5 passe à $K = 8,74$, et quitte la plage d'amplitudes maximales volontaires des mouvements qui présente une courbure $K = 5$ au même point sur le rachis (Figure 12). Cette courbure s'accompagne d'une élongation de 12,5 millimètres du rachis par rapport à la position au départ de l'action, par contre elle n'induit pas d'élongation supérieure à celle de la flexion maximale volontaire (-7,2 millimètres). La déformation exprimée en termes de courbure locale continue son évolution à l'extérieur de la plage des amplitudes maximales volontaires pour atteindre sa valeur maximale de $K = 22$, comparativement au point qui lui est correspondant sur la courbure locale maximale volontaire, au niveau de L5, est de $K = 3,74$ (Figure 13). Ce changement de courbure s'accompagne d'une élongation du rachis lombaire entre le dessus du sacrum et L3 égale à 23,4 millimètres de plus par rapport à cette même parcelle du rachis au début du mouvement. Le changement de courbure induit aussi une élongation de 3,8 millimètres de plus par rapport à la flexion maximale volontaire. Ces changements d'allures atteignent leurs maximums en 0,19 seconde. Le rachis passe une durée totale de 0,425 secondes en dehors de sa zone de confort (la déformation en dehors de la plage des amplitudes maximales volontaires survient à l'instant

4,525 s de l'enregistrement, l'amplitude maximale de courbure est atteinte à l'instant 4,717 s et cette déformation prend fin à l'instant 4,95 s).

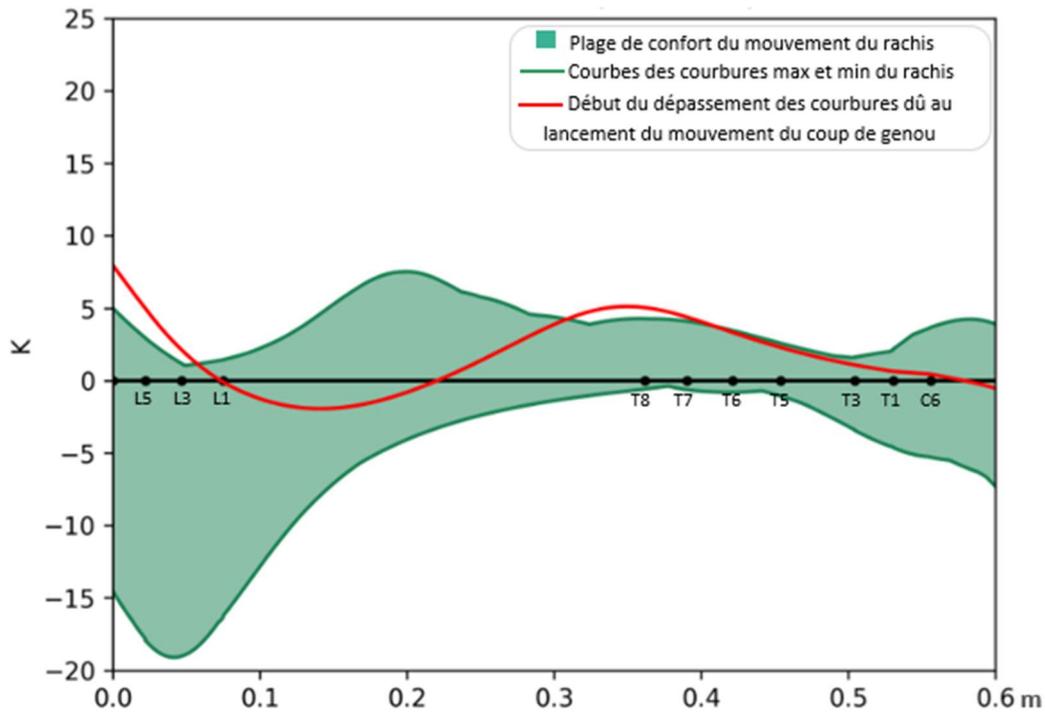


Figure 12 : Début de l'évolution des courbures des rachis lombaire et thoracique en dehors de la plage des amplitudes maximales volontaires des mouvements dans le plan sagittal.

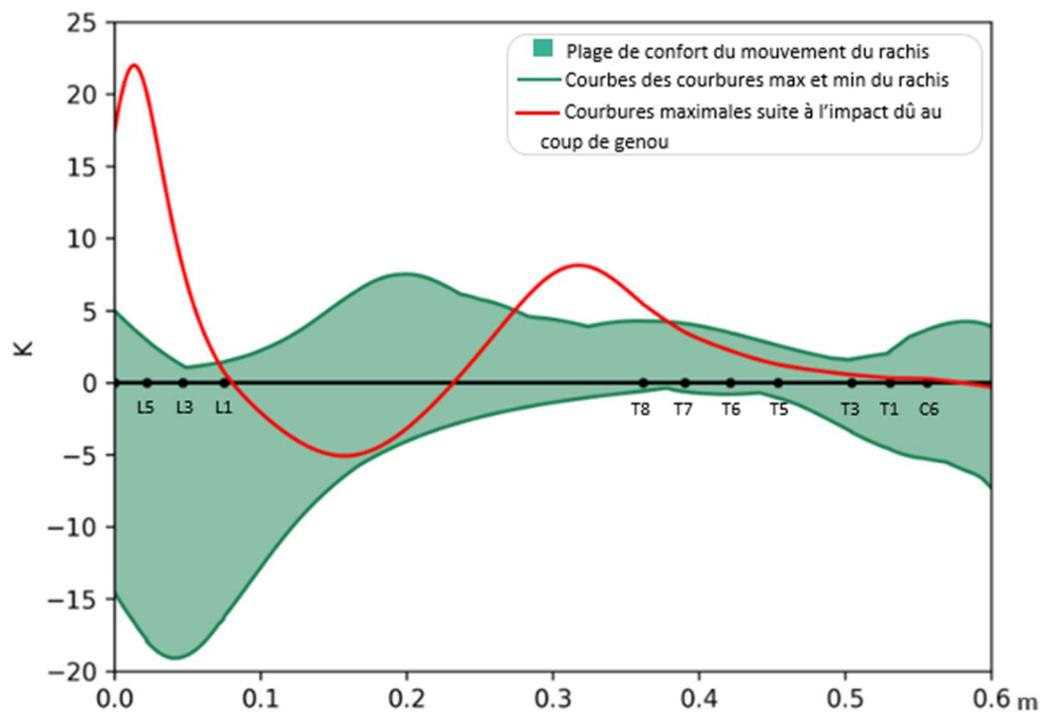


Figure 13 : Courbures maximales des rachis lombaire et thoracique dues à l'impact du coup de genou, dépassement de la plage des amplitudes maximales volontaires des mouvements dans le plan sagittal.

Le coup de genou a également produit des déformations au niveau du rachis thoracique. La courbure maximale obtenue à la suite de l'impact du coup de genou dépasse les amplitudes maximales volontaires. En effet, la courbure maximale atteinte dans cette région est de $K = 8,13$ et est situé entre T7 et T8, alors que pour le point lui correspondant sur la plage de confort sa courbure est de $K = 4,03$. Cette courbure a engendré à ce niveau du rachis une élongation de 5 millimètres par rapport à sa longueur au moment du début du mouvement du coup de genou. Elle a provoqué également une élongation de 1,2 millimètres de plus par rapport à la même région pendant la flexion maximale volontaire. Le rachis thoracique atteint sa courbure maximale en dehors de la plage de confort au bout de 0,19 seconde comme au niveau lombaire. Cependant cette déformation ne dure, à ce niveau, que 0,3 secondes au total avant de rejoindre la plage de confort (début de la déformation en dehors de la plage des amplitudes maximales volontaires à l'instant 4,525 s de l'enregistrement, amplitude maximale de courbure à l'instant 4,717 s et fin de la déformation à l'instant 4,83 s).

Nous avons constaté que le rachis lombaire et le rachis thoracique atteignent leurs maximums de courbures au même instant. Une durée de 0,03 seconde s'est écoulée entre le moment de l'impact du coup de genou et le moment où la colonne vertébrale atteint ses courbures et ses élongations maximales aux niveaux lombaire et thoracique.

VI. Discussion

Les études contemporaines en biomécanique et les méthodes d'analyse du mouvement ayant des optiques préventives de la colonne vertébrale continuent d'évoluer. Cependant, les schémas de classifications actuels de ces modèles peuvent être trop simplifiés ou trop complexes pour des applications en situations réelles. Le but de notre étude était de développer un modèle biomécanique et numérique qui nous permettra d'avoir une vision locale de la charge

mécanique du rachis dans son ensemble lors de mouvements, en le considérant comme étant un corps unique déformable.

Les principaux objectifs de notre étude et de notre première hypothèse ont été vérifiés et validés. Le modèle d'analyse biomécanique de Ranavolo et al., (2013) construit sur dix marqueurs placés aux niveaux de C6, T1, T3, T5, T6, T7, T8, L1, L3 et L5, a été vérifié et validé. Nous avons pu, en se basant sur ces résultats, mettre en place notre propre modèle biomécanique et numérique permettant de modéliser l'allure du rachis dans son ensemble comme étant un corps unique déformable et non pas en tant qu'un ensemble de segments rigides non déformables à la manière dont il est décrit dans la quasi-totalité des études existantes traitant de la biomécanique de la colonne vertébrale. Nous avons pu vérifier son efficacité en termes de modélisation et de reproduction de l'aspect du rachis dans son ensemble (Figure 7) au cours d'une analyse de mouvement lui induisant des changements d'allures et des déformations considérables. Ce modèle présente un intérêt et une originalité, car il se base sur un nombre de marqueurs réduits, utilisés et placés sur le corps du sujet de manière à lui permettre d'exécuter les mouvements les plus fluides et de ne pas leurs présenter de gênes.

Notre modèle nous a servi également à quantifier les déformations et les changements d'allures du rachis en fonction du temps. Ce modèle et le protocole qui lui est associé sont facilement reproductibles et réalisables sur le terrain et vont pouvoir nous permettre, dans des analyses futures, de détecter et déterminer les mouvements et les postures dites à risques de blessures chez les étudiants artistes du cirque.

Le protocole et l'analyse qui ont servi à la création de notre modèle biomécanique et numérique (l'étude de l'effet de l'impact du coup de genou sur les déformations du rachis), nous ont permis de vérifier son utilité et sa fiabilité.

Grâce à notre modèle biomécanique et numérique nous avons observé les déformations subies par le rachis dans son ensemble et aux niveaux de différents segments (cervicales, thoracique et lombaire). Contrairement à nos attentes et à notre hypothèse concernant le fait que la région cervicale serait la zone présentant le plus de risque dû à une déformation importante en terme de courbure du rachis, nous avons constaté que l'évolution de la reconstruction de la colonne vertébrale dans son ensemble ne dépasse pas les limites maximales volontaires de la plage de confort au niveau du rachis cervical. Durant tout le mouvement du coup de genou, que ce soit pendant la phase de préparation de réception du coup, ou pendant la réception du coup et le long de la propagation de l'onde de choc, l'évolution du mouvement du rachis cervical reste très loin de ses limites de la plage des mouvements maximaux volontaires. Cette absence de contrainte excessive au niveau des cervicales est probablement le résultat de la technique d'exécution du coup de genou par S1. En effet, au moment où l'attaquant (S1) décollait son pied du sol et exerçait une traction sur le receveur du coup (S2) au niveau occipital, en le faisant basculer vers l'avant et vers le bas, il appliquait également une pression avec ses coudes sur le haut des pectoraux de S2, de sorte à lui faire redresser les épaules vers l'arrière. Par réaction à cette traction, S2 contracte ses muscles du cou en essayant de maintenir sa nuque bloquée vers l'arrière. Cet ensemble d'actions et de réactions aux niveaux de la tête et du cou, ont tendance à minimiser les mouvements de la tête de S2 et à la fixer fermement. Elles l'empêchent de se retirer vers l'arrière et induisent chez lui, comme voulu par S1, un relâchement du bas du dos et de l'abdomen afin que le coup de genou porté soit plus douloureux à ce niveau et amène à une victoire plus rapide de son exécuteur. Ainsi les cervicales sont bien stabilisées, le choc reçu est suffisamment loin de cette région du rachis pour qu'il puisse la faire excessivement osciller. Aucun changement brutal de vitesse de mouvement, qui aurait été capable de provoquer une hyper-flexion ou extension, ne semble avoir eu lieu à ce niveau de la colonne vertébrale.

En étudiant le comportement général du rachis dans son ensemble, semblablement à ce que l'on peut observer au niveau cervical lors du coup de fouet (coup du lapin), le coup de genou porté par S1 provoque une inversion des courbures du rachis de S2 mais aux niveaux thoraco-lombaire. Lorsque le coup de fouet intervient dans un accident de voiture, le thorax étant maintenu par la ceinture de sécurité, l'impact produit une flexion cervicale globale suivi par une phase de translation postérieure de la tête avec une déformation en « S » du rachis cervical (Revel, 2003). Dans notre cas d'étude, inversement à ce qui vient d'être décrit, le haut du corps est maintenu fermement, penché vers l'avant au niveau de la tête et bloqué vers l'arrière au niveau des épaules, rendant la région cervicale quasi-immobile comme constaté dans nos résultats. L'impact du coup de genou provoque une translation antéro-postérieure du bassin et du bas du dos induisant une déformation en « S » du rachis thoraco-lombaire suivie d'une hyper-flexion globale de cette région. Ces mouvements provoquent des changements brutaux dans les sens de déplacements des structures du rachis thoraco-lombaire, les faisant basculer d'un mouvement de rotation postéro-antérieur à un mouvement de cisaillement antéro-postérieur. Ceci a tendance à détériorer l'intégrité du complexe ligamentaire postérieur qui est identifié comme étant l'un des principaux déterminants de la stabilité de la colonne thoraco-lombaire et la première structure touchée dans divers types de blessures dues à des hyper-flexion forcées (Holdsworth, 1963). Quatre structures anatomiques sont impliquées dans tout type de blessure (corps vertébraux, articulations à facettes, ligaments postérieurs, disques) (Nicoll, 1949). 30 à 60% de toutes les blessures traumatiques de la colonne vertébrale se situent à la jonction thoraco-lombaire, ce qui fait d'elle la région la plus fragile (Magerl et al., 1994). Ces blessures provoquent généralement des lésions ligamentaires ou osseuses importantes qui entraînent une colonne vertébrale chroniquement instable (Lee et al., 2005).

Dans les activités physiques, tel que le Muay-Thai et certaines disciplines circassiennes, où le corps est enclin à des chocs ou des impacts fréquents et répétitifs ayant comme conséquences

des mouvements de cisaillements associés à des hyper-flexions forcées au niveau vertébrale, des instabilités mécaniques et des détériorations neurologiques peuvent survenir progressivement, séparément ou ensemble. Des troubles des muscles paravertébraux risquent de s'installer graduellement sans douleur à la palpation ou à la mobilisation des apophyses épineuses. Une instabilité mécanique peut conduire à une cyphose progressive sans qu'elle soit associée à une instabilité neurologique et une détérioration neurologique peut se produire sans signes radiographiques d'instabilité mécanique (Denis, 1983; Lee et al., 2005).

La répétition de ce type d'impact peut avoir des effets délétères sur les structures du rachis et les tissus l'englobants. Le développement d'un critère lésionnel est plus compliqué pour la moelle qu'il ne l'est pour l'os ou les structures musculo-ligamentaires. Des syndromes post-traumatique peuvent apparaître longtemps après le choc (Schmitt et al., 2017). Le plus souvent un intervalle libre est nécessaire avant l'apparition des atteintes des fibres nerveuses dorsales et du déficit musculaire des extenseurs du rachis, comme l'observe Price (2004), pour qui des patients victimes de traumatisme rachidiens ont présenté des syndromes de dysfonctionnement neuromusculaire 10 à 15 jours après l'accident. En effet, la lésion ne se produit pas par rupture, mais par un enchainement de phénomènes physico-chimiques complexes incluant une surcharge intracellulaire de calcium menant à une démyélinisation ou à des dommages axonaux (Fradet, 2013).

L'impact du coup de genou fait basculer la lordose lombaire naturelle en une cyphose forcée. En plus du changement total du sens de la courbure du rachis lombaire, celle-ci dépasse très largement les amplitudes maximales des mouvements volontaires et s'accompagne d'une élongation locale également supérieure à celle de l'étirement maximal volontaire de cette région. En analysant cinétiquement nos résultats et en les comparant avec ceux de Fradet (2013), nous constatons que la durée de notre déformation de la région lombaire est de 0,19 s. Cette déformation est exprimée dans notre étude en fonction des changements de la courbure

et de l'élongation. Elle est légèrement inférieure à la durée de la déformation due au choc quantifiée par Fradet (0,2 s), qu'il a exprimée en degré d'inclinaison en flexion-extension (de -5° à 5°) et à partir de laquelle il a commencé à observer des fissures qui initient des fractures aux vertèbres. Ces fissures et fractures sont à l'origine dues à la nature trabéculaire de la structure du corps vertébral.

Etant donné que l'intégrité de nos sujets est primordiale, dans notre protocole nous avons anticipé la violence de l'impact du coup de genou et nous avons renforcé le plastron de protection en mettant une double épaisseur. Le plastron empêche principalement que le genou de l'attaquant ne s'enfonce dans l'abdomen ou le plexus solaire du receveur du coup et permet de dissiper l'énergie de l'impact. Un plastron standard répartit les impacts à grandes vitesses sur une zone relativement grande du matériau absorbant ainsi 30 à 40 % de l'énergie (en joule) des chocs. Sachant que nous avons doublé l'épaisseur en superposant deux plastron nous estimons que 50 à 60 % de l'énergie du choc a été absorbée (Del Vecchio et al., 2011 ; Woo et al., 2013).

Dans notre étude nous avons constaté que l'impact a inversé la lordose naturelle en une cyphose qui dépasse les amplitudes maximales du mouvement volontaire. Donc notre plage de déformation est largement supérieure à l'amplitude du mouvement analysé dans l'étude de Fradet délimité dans un mouvement de flexion-extension allant de -5° à 5°.

Sans l'amortissement du choc par la protection, tous les paramètres quantifiés lors de l'impact dans notre cas, peuvent être amplifiés et induire une compression vertébrale antéro-postérieure qui s'appliquerait sur le corps vertébral, pouvant ainsi causer des dommages sur la moelle épinière et les ligaments (Woo et al., 2013). Fradet (2013), constate que l'augmentation de l'énergie cinétique entraîne une augmentation de la gravité des traumatismes.

L'impact du coup de genou s'exerce 3 à 5 centimètres au-dessous du plexus solaire avec une direction et un sens allant du centre de l'abdomen vers le cœur, le choc est donc plus important dans la région thoracique. Concernant le rachis thoracique, nous avons constaté que la cyphose physiologique ne change pas de direction mais cela n'empêche pas que sous l'effet du choc, sa courbure dépasse de deux fois les amplitudes maximales du mouvement volontaire. Cette déformation s'accompagne d'une élongation qui dépasse, elle aussi, les valeurs maximales volontaires. Anatomiquement, la région entre T5 et T9, est caractérisée par sa mobilité réduite comparativement au reste des régions du rachis, car elle a pour rôles de préserver et de protéger le cœur. Pour une différence de changement de courbure et d'élongation quatre fois moins importante, nous avons observé la même durée de déformation (0,19 s) entre T8 et T7 que celle au niveau de L5. Fradet (2013) a constaté qu'une déformation due à un cisaillement antéro-postérieur au niveau de la région thoracique, engendre une fracture du corps vertébral avant une durée de 0,2 s.

Si le coup de genou avait été porté directement, sans protection dans une situation réelle, il y aurait eu un impact presque 2 fois plus important (Woo et al., 2013) amenant à une déformation considérablement plus importante et par conséquent, à plus de probabilité d'induire des dommages relativement graves au niveau du rachis.

Notre étude nous a permis de constater que l'augmentation de courbure toute seule peut indiquer une déformation susceptible d'induire un traumatisme ou un dommage minime. L'élongation toute seule sans changement important en terme de courbure ne signifie pas toujours un risque de blessure, tant qu'elle ne dépasse pas les valeurs limites déterminant les amplitudes maximales du mouvement volontaire et l'élongation maximale de la peau. Cependant l'addition d'un dépassement important de courbure et d'élongation permet de suspecter la survenue soit de traumatismes soit de lésions.

La construction trabéculaire des vertèbres est à double tranchant. D'un premier côté elle rend la structure du rachis vulnérable aux risques de fractures suite aux éventuelles impacts ou choc, et d'un deuxième côté, l'organisation et l'orientation des trabécules sont régies par les contraintes mécaniques exercées sur le corps vertébral lui permettant une grande aptitude à l'adaptation.

Conclusion

Notre étude nous a permis de valider le modèle biomécanique de Ranavolo et al., (2013), visant à représenter la colonne vertébrale dans son allure naturelle et se basant sur une reconstruction utilisant un nombre réduit de marqueurs d'un système optoélectronique. Cette validation nous a permis de développer notre propre méthode de reconstruction géométrique consacré au suivi tridimensionnel du rachis dans son ensemble comme étant un corps unique déformable.

Notre modèle a pour vocation d'étudier les éventuels accidents à l'échelle du corps humain chez les étudiants artistes du cirque. Il permet d'observer la cinématique de mouvements traumatisants et de prédire des niveaux d'efforts ainsi que les énergies en jeu lors d'un impact au niveau de la face antérieure du tronc, fréquemment sujette à des conditions accidentelles dans les activités circassiennes.

L'application de notre méthode de reconstruction géométrique pour l'analyse de l'impact du coup de genou dans la discipline de Muay-Thai, nous a servi, premièrement, à la vérification de la validité et de la fiabilité de notre modèle dans le suivi des mouvements du rachis dans son ensemble. Deuxièmement, elle nous a permis de déterminer les éventuels comportements lésionnels du rachis. En effet, nous avons pu constater que le coup de genou en Muay-Thai provoque un choc très violent qui induit des déformations du rachis dépassant ses mouvements maximaux volontaires. Dans les cas où la protection est absente, ces déformations peuvent causer des blessures graves aux niveaux des vertèbres et des structures les entourant.

L'analyse du mouvement du coup de genou sur le rachis n'est pas en lui-même l'objectif pour lequel nous avons développé notre modèle par éléments finis. Cette analyse nous a servi à valider et à vérifier la puissance et les limites de notre modèle, qui a été principalement conçu pour l'étude des contraintes que peut subir la colonne vertébrale pendant la pratique des activités circassiennes, tel qu'observées dans le Mât Chinois et les portés acrobatiques (Banquine, main à main, etc.).

Notre méthode de reconstruction géométrique a l'avantage de n'utiliser qu'un nombre réduit de marqueurs permettant l'analyse de mouvements fluides dans des conditions réelles et sans présenter de gênes pour l'artiste.

Perspectives

L'objectif majeur du développement de notre modèle biomécanique et numérique est de l'appliquer à d'autres articulations ou autres groupes de segments, en essayant -en premier lieu- de déterminer les équations correspondantes aux mouvements de ces derniers et -en second lieu- de les appliquer directement dans notre code informatique (avec probablement quelques modifications spécifiques), afin d'étudier les amplitudes maximales articulaires et les limites pouvant présenter des risques de blessures.

L'application de notre modèle amélioré et adressé aux activités circassiennes servira d'outil préventif à la préservation de la santé des étudiants artistes du cirque.

Notre modèle nous servira à quantifier les déformations du rachis suite à la transmission des forces des bras au thorax via l'articulation scapulo-huméral lors de la réception du voltigeur chez les spécialistes des portés acrobatiques. Notre modèle biomécanique et numérique a l'avantage de ne pas être encombrant et d'être facilement applicable dans des conditions réelles. Il nous permettra d'identifier les régions qui subissent les déformations, et en fonction de l'investigation de ces résultats, nous pourrons détecter les structures susceptibles d'être à risque

lésionnel (chaines musculaires, ligaments, disques...). Des programmes de prévention de blessures adaptés et ciblés pourront, à la base de ces investigations, proposer des exercices compensatoires et/ou de renforcement spécifiques et adéquats.

Limites de l'étude

Cette étude permet d'investiguer les déformations de la colonne vertébrale dans le plan sagittal et dans les cas d'hyper-flexion forcées, ce qui nous limite à n'étudier que les mouvements de rotation et de translation antéropostérieures des vertèbres et des structures l'entourant.

Prévention des blessures chez les étudiants artistes du cirque

Discussion générale

En traitant le comportement gestuel et corporel constituant les activités circassiennes comme étant des performances physiques sportives, les sciences et techniques des activités physiques et sportives, peuvent contribuer à mieux comprendre les problèmes pouvant être sources de l'excessive apparition des blessures chez les étudiants artistes du cirque contemporain et permettre par la suite, en agissant sur les phénomènes à l'origine des défaillances physiologiques, biomécaniques, psychologiques et comportementales, de préserver le potentiel de l'artiste de cirque.

Notre thématique de recherche consistait, en premier lieu, à établir et à étudier les caractéristiques anthropométriques d'étudiants artistes du Centre National des Arts du Cirque de Châlons-en-Champagne, afin de donner un aperçu plus précis du biotype morphologique et fonctionnel le mieux adapté aux exigences techniques spécifiques des artistes de cirque. En deuxième lieu, à investiguer si la qualité de l'échauffement, son contenu et la manière dont les étudiants artistes préparent leurs corps pour pratiquer leurs spécialités, est en relation directe avec le taux de blessures et leurs sévérités. En troisième lieu, à prospecter si l'état d'esprit déterminant l'approche à l'activité physique artistique affecte le temps d'engagement effectif pendant la séance de spécialité et altère la force contractile (qui représente le reflet de la condition physique) et par leurs intermédiaires influencent le taux de blessures en le rehaussant. Et en quatrième lieu, mener une analyse cinématique pour établir un modèle biomécanique du

rachis venant se mettre au service des différents résultats recueillis durant nos trois précédentes études. Ce modèle permet une évaluation objective des risques encourus par les artistes dans des situations où les paramètres physiques, psychiques ou morphologiques, présents individuellement ou en interaction, peuvent constituer un facteur aggravant.

En mettant en relation les deux premières études, nous constatons que, malgré les morphotypes divergents entre aériens et non-aériens et leurs adaptations morphologiques spécifiques dues à leurs activités, nous n'avons pas constaté de différences significatives entre eux concernant les taux de blessures, leurs emplacements anatomiques et leurs sévérités. Ainsi, nous avons conclu que le genre et la spécialité n'influencent pas le nombre et le type des blessures.

En combinant les résultats de la première et de la troisième étude, nous observons des ajustements morphologiques permettant l'adaptation à la charge de travail très élevée des activités circassiennes, notamment pour les étudiants artistes qui se considèrent comme sportifs.

Dans la deuxième étude, nous avons constaté que les étudiants artistes ont tendance à négliger les blessures mineures qui ne nécessitent pas de traitement et qui causent des périodes de douleurs comprises entre une semaine et un mois. Ils n'interrompent pas leurs pratiques et leurs performances pour permettre un temps de cicatrisation des tissus endommagés.

Les étirements passifs, statiques et de longues durées qu'ils pratiquent pendant les échauffements et l'absence d'activation cardiorespiratoire associés à l'absence de mise en charge articulaire, agissent à l'encontre de ce dont les fonctions musculosquelettiques ont besoin pour subir les exigences nécessaires aux performances des activités physiques circassiennes. En conjuguant certains des résultats de notre seconde et de notre troisième étude nous pouvons diagnostiquer que plus de la moitié des étudiants artistes passent leurs séances de spécialités à rattraper un déficit de leur force contractile dissipée par la mauvaise gestion de leurs temps de récupération et des pratiques qui leurs sont associées. Moins les étudiants artistes

pratiquaient des étirements passifs avant leurs prouesses, meilleures étaient l'évolution de leurs forces pendant les séances de spécialités, moins ils étaient blessés, voire pas du tout, et inversement.

Si nous nous intéressons à la mise en relation de la deuxième et de la quatrième étude, cela permettrait d'investiguer la relation entre une mauvaise qualité de l'échauffement ou son absence et l'aggravation du dépassement des amplitudes articulaires. En effet, l'application de notre méthode numérique de reconstruction géométrique sur la comparaison de différentes amplitudes maximales du mouvement, pour un même individu, dans diverses situations (i.e. sans échauffements, avec un échauffement inadéquat, et avec un échauffement de qualité) pourrait déterminer l'ampleur de la majoration du risque de blessure.

L'analyse biomécanique pourrait dévoiler dans quelles mesures les déformations de la colonne vertébrale, lorsqu'elles vont au-delà des amplitudes maximales, sont susceptibles d'engendrer des lésions aux niveaux des différentes structures architecturales ou fonctionnelles de l'articulation ou du membre étudié.

Suite à cette analyse on pourrait s'attendre à observer une augmentation de la survenue de lésions dans les situations d'absence d'échauffement aux niveaux des différentes structures architecturales ou fonctionnelles de l'articulation ou du membre étudié.

Nous suggérons alors aux étudiants artistes, pour minimiser le nombre de blessures et atténuer leurs sévérités, d'adopter différentes pratiques préventives lors de leurs échauffements. En particulier, nous leurs conseillons de supprimer les étirements statiques, passifs et de longues durées et de les remplacer par des étirements actifs, dynamiques et de très courtes durées, ainsi que de solliciter leurs articulations avec des exercices y créant de la pression et enfin d'introduire des exercices de renforcement musculaire (avec ou sans charge).

En s'intéressant à l'approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique, nous convenons que celle-ci détermine l'optimisation du temps d'engagement effectif avec une relation de dépendance significative et semble être un facteur déterminant dans l'apparition des blessures pendant les séances de spécialité.

Nous avons constaté que les étudiants artistes qui se considéraient comme non-sportifs en terme d'approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique ont le temps d'engagement effectif le plus bas ; pratiquent une récupération passive en position verticale combinée à des étirements passifs, statiques et de longues durées ; possèdent la force contractile la plus faible et ont le taux de blessure le plus élevé. Les étudiants artistes se définissant comme sportifs présentent de meilleurs temps d'engagement effectif et une meilleure condition physique. Conjointement, nous avons pu observer que les étudiants artistes aériens ont, généralement, un temps d'engagement effectif plus faible que les non-aériens. Sachant que le faible temps d'engagement effectif pendant les séances de spécialités, le manque d'entraînement cardiorespiratoire et les perturbations des forces contractiles induisent une fatigabilité précoce qui se traduit potentiellement par des moments d'affaiblissements créant ainsi un grand risque de blessures à la fin des séances de spécialités, nous remarquons, dès lors, que les aériens, par leurs habitus, sont susceptibles de développer plus de risques de blessures.

L'approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique a un lien direct avec la condition physique des étudiants artistes du cirque et sur la considération de la charge de travail en tant qu'activité physique et non pas uniquement en tant qu'expression corporelle artistique et semble avoir une incidence sur la diminution d'apparition des blessures, voire même sur leurs sévérités.

En mettant en relation les trois premières études, nous constatons que les non-aériens possèdent un physique élancé affectant positivement leurs performances (un somatotype mésomorphe-

ectomorphe) ; ont une meilleure condition physique (une meilleure circonférence du biceps et une force contractile supérieure) ; ont un temps d'engagement effectif plus élevé durant leurs séances de spécialités. En somme, les étudiants artistes non-aériens sont ceux qui se considèrent en majorité comme sportifs et sont les moins blessés, voire pas du tout blessés.

Nous pouvons conclure que l'approche psychologique à l'activité détermine la condition physique des étudiants artistes et influence leur prédisposition aux blessures.

Limites et apports de l'étude :

Une grande part des mesures envisagées n'a pas pu être menée suite à une suspension prématurée de notre collaboration avec le CNAC. Ainsi l'analyse des échanges gazeux lors des séances de spécialités à travers l'analyseur des gazes « Oxycon Mobile Jaeger », le suivi d'un ensemble de données physiologiques (fréquence cardiaque, variabilité cardiaque, fréquence respiratoire, volume respiratoire) via les vêtements biométriques « Hexoskin » et les questionnaires d'évaluation de la charge de travail, de l'humeur et de la motivation n'ont pu être utilisés au-delà des pré-manips indispensables à l'élaboration finale des protocoles. Ces outils devaient nous servir à déterminer les exigences physiologiques et psychologiques de la charge de travail spécifique nécessaire à chacune des activités circassiennes. Les résultats attendus nous auraient permis d'étayer nos observations et constatations qui restent malheureusement discutables vu les manques dus à ces absences. Ces mesures auraient notamment pu minimiser l'influence de paramètres non contrôlés qui pouvaient interagir avec les résultats présentés.

Dans notre première étude, la caractérisation anthropométrique ne nous a pas permis d'identifier des relations entre les adaptations morphologiques et/ou les somatotypes et le taux des blessures, leurs emplacements et leurs sévérités.

Les adaptations morphologiques aux activités circassiennes sont probablement une évolution logique du corps des étudiants artistes en fonction de leurs prédispositions naturelles qui étaient à l'origine de leurs orientations dès le début de leur formation vers une activité plus qu'à une autre. L'absence d'informations initiales au début de leur formation et le suivi de l'évolution des morphologies au cours des trois années suivantes, initialement programmé, nous limite pour conclure sur les adaptations morphologiques et leur influence sur l'apparition des blessures et leurs emplacements.

L'absence de mesure de la composante « endomorphie » due à la proscription de la mesure des plis cutanés a remis partiellement en question la précision des somatotypes définis dans notre caractérisation.

Malgré ces manques méthodologiques, l'apparition des déséquilibres bilatéraux chez les étudiants artistes non-aériens reste une constatation à considérer. Les enseignants et les formateurs doivent y être sensibilisés afin d'éviter ce type d'adaptations, qui peuvent mener à des compensations sources de phénomènes inflammatoires.

Dans notre deuxième étude, un suivi de la température corporelle aurait dû être effectué afin de vérifier son évolution avant, pendant et après l'échauffement et lors des séances de spécialités. Cette mesure aurait pu appuyer ou infirmer que les étirements passifs, statiques et de longue durée induisent un refroidissement musculaire et ont été en relation directe avec le taux d'apparition des blessures chez les circassiens.

Une comparaison entre les échauffements contenant des exercices de renforcement et d'autres qui n'en contiennent pas aurait pu, peut-être, montrer les éventuels effets de la potentialisation-post activation et aurait pu être mis en relation avec les blessures.

L'incapacité à poursuivre nos mesures et nos observations concernant les bilans de blessures durant au moins deux années nous empêche de pouvoir affirmer et généraliser nos conclusions

et l'implication ainsi que le rôle de l'échauffement dans la prévention des blessures et l'importance d'effectuer un échauffement approprié aux différentes activités circassiennes et non pas juste de s'échauffer d'une manière standardisée comme pour pratiquer une activité physique quelconque.

Les statistiques ont cependant démontré une relation de dépendance entre la pratique des étirements passifs, statiques et de longue durée et l'apparition des blessures et entre l'absence de pratique d'exercices d'activation cardiovasculaire et le taux d'apparition des blessures.

En prenant en considération les éventuels manques méthodologiques de notre étude, les enseignants et les formateurs des étudiants artistes doivent tenir compte de ces problèmes et agir dans le sens à inciter leurs élèves à changer leurs habitudes et à mettre en place des échauffements et des préparations de leurs corps, appropriés aux exigences et aux spécificités de leurs activités, comme nous le conseillons dans les implications pratiques à la fin de ce document.

Dans la troisième étude, avoir uniquement posé la question : « Est-ce que vous vous considérez comme une personne sportive ou non ? », aux étudiants artistes ne permettait pas de déterminer exactement l'approche globale de l'étudiant vis-à-vis de son activité circassienne de prédilection. Il était prévu, dans notre protocole, de leur faire passer différents questionnaires, notamment le « Athletic Identity Questionnaire » développé par Anderson (2004), qui auraient pu étayer nos résultats et les appuyer afin de pouvoir généraliser nos observations et conclusions. En l'absence de confirmation de ces mesures empiriques, nos résultats restent des constatations et nous ne pouvons pas, pour le moment, les extrapoler à tous les artistes en formation.

La force contractile est un excellent indicateur de la condition physique générale, mais malheureusement l'incapacité à mener nos mesures à terme nous a empêché d'exploiter la force

contractile des membres inférieurs pour confirmer avec certitude que les non-aériens ont une meilleure condition physique que les aériens et de conclure en affirmant que l'approche psychologique vis-à-vis de l'activité circassienne impacte le comportement gestuel qui pourrait être à l'origine de l'occurrence des blessures.

En dépit du manque de questionnaires et de mesures pouvant soutenir nos constatations, les enseignants et formateurs peuvent prendre en considération nos résultats qui ont montré statistiquement que l'approche psychologique vis-à-vis de l'activité physique artistique influence l'optimisation du temps d'engagement effectif, d'où l'intérêt de sensibiliser leurs étudiants artistes à la spécificité de leurs activités physiques artistiques et à ce qu'ils ne négligent pas la charge d'entraînement qui leur est nécessaire et qui est à la base de l'expression artistique gestuelle.

Dans notre quatrième étude, ne pas avoir appliqué et vérifié notre modèle cinématique et numérique sur les mouvements pratiqués dans les activités physiques circassiennes peut être source d'interrogations sur son efficacité et sa compatibilité avec ce type de mouvement. Toutefois, la vérification de notre modèle sur le mouvement du coup de genou en Muay-Thai, nous a permis de constater sa fiabilité en particulier sa capacité d'adaptation numérique en fonction des équations des mouvements à étudier.

Implications pratiques :

Les mesures anthropométriques associées à la quantification de la force contractile des étudiants artistes nous ont permis de constater qu'il est nécessaire d'appliquer un programme de renforcement musculaire visant à atteindre un équilibre bilatéral afin d'éviter les compensations posturales qui sont souvent à l'origine d'inflammations et de déséquilibres musculosquelettiques.

Nous suggérons aux étudiants artistes d'adopter différentes pratiques préventives lors de leurs échauffements et de revoir leurs contenus. En particulier, nous leurs conseillons de supprimer les étirements statiques, passifs et de longues durées et de les remplacer par des étirements actifs, dynamiques et de très courtes durées, de pratiquer des exercices d'activation cardiorespiratoire ainsi que des exercices appliquant de la pression sur les articulations visant à diminuer le liquide synovial pour une meilleure absorption des chocs mais aussi d'introduire des exercices de renforcement musculaire.

Nous proposons aux étudiants artistes de mieux organiser les différentes parties de leurs séances de spécialité et d'optimiser leur temps d'engagement effectif de façon à ce qu'il ne soit ni trop élevé ni trop faible. Il est également nécessaire de les sensibiliser aux exigences physiques de leurs performances artistiques et de leur faire prendre conscience des risques qui leurs sont associées.

Du point de vue biomécanique et afin de prévenir les mouvements à risques effectués dans les limites des amplitudes articulaires, adapter et appliquer aux activités circassiennes notre méthode de reconstruction géométrique améliorée sera un nouvel outil de prévention individualisé pour la santé des étudiants artistes et leur permettra de mieux se préparer à la future carrière artistique qui les attends.

En tenant compte de notre principal résultat montrant que la cheville est la zone la plus atteinte par les traumatismes, des programmes de renforcement de stabilité et de proprioception de la cheville avec le « Myolux Medik e-volution » peuvent être de très grande utilité pour prévenir certaines blessures notamment les entorses en inversion.

Conclusion générale

Les adaptations morphologiques se traduisant par des équilibres bilatéraux, la condition physique, l'approche psychologique envers l'activité circassienne, les mauvaises habitudes et les prérequis pratiqués pour la préparation du corps à l'effort intense des performances artistiques s'additionnent et constituent de potentiels risques d'augmentation de blessures, allant jusqu'au dédoublement de leur taux d'apparition et de leurs sévérités.

En essayant de prendre du recul sur ce travail de jeune chercheur, nous pouvons penser que notre implication excessive dans la discussion de nos propres résultats nous a fait mettre de côté des défaillances méthodologiques certaines (la difficulté d'accès à la population ciblée en étant la première cause). Les résultats inattendus par rapport à nos hypothèses sont dans certains cas plus constructifs et apporte plus de réponses à nos questions de départ et nous oriente souvent vers de nouvelles pistes ou questions à investiguer qui parfois donnent plus de sens à notre travail de recherche.

D'un point de vue scientifique, notre travail nous a permis d'identifier un ensemble de paramètres incriminés dans la survenue des blessures chez les étudiants artistes du cirque ainsi que les modalités pouvant agir pour causer ces blessures et augmenter leurs taux et leurs sévérités. Nos conclusions seraient à même de permettre aux intervenants auprès des jeunes artistes en formation de les préparer convenablement et de les préserver face aux risques que pourraient représenter certaines approches envers l'activité circassienne.

La finalité de ce travail de thèse est de sensibiliser les professionnels du cirque à l'existence de problèmes et défaillances (environnementaux, physiologiques et psychologiques) dans les méthodes et les manières dont les artistes abordent leurs activités physiques artistiques. En prenant comme point de départ les quelques observations et constatations de ce travail, il leur

est conseillé d'agir avec un travail de fond sur les paramètres identifiés impliqués dans la prévention des blessures et la santé des artistes du cirque.

Perspectives

Étant donné que l'articulation de la cheville est la zone la plus touchée par les traumatismes dus à leurs activités, comme constaté dans notre prospection des blessures, une étude de la proprioception et de la stabilité de la cheville chez les étudiants artistes du Centre National des Arts du Cirque a été envisagée et a débuté récemment. Cette étude consiste à effectuer le bilan fonctionnel et proprioceptif de la cheville de tous les étudiants artistes en utilisant le *Myolux Medik e-volution*. Ce dispositif est un chausson biomécanique équipé d'un articulateur situé sous le talon et d'une pelote sous l'avant-pied permettent de déstabiliser le pied et de mobiliser les articulations de la cheville. Il a comme fonctions de diagnostiquer les déficits fonctionnels, de rééduquer les chevilles instables et de prévenir les entorses et leurs récurrences. À travers sa centrale inertielle connectée au chausson, l'appareil capte et transmet, à une tablette via une connexion Bluetooth, les informations cinématiques relatives aux déplacements de l'articulateur de l'arrière-pied.

Le *Myolux Medik e-volution* évalue trois types de proprioception : 1) la Proprioception-Positionnement qui consiste à mémoriser différentes positions de la cheville et à les reproduire les yeux fermés, 2) la Proprioception-Dissociation qui consiste à maîtriser la répétition du mouvement inversion/éversion sur un degré limité de l'angle de l'articulation de la cheville ; 3) la Proprioception Fonctionnelle qui mesure la capacité à maintenir sa cheville stable sur un support légèrement instable pendant 20 s.

Ce dispositif évalue aussi la force musculaire des muscles de la cheville de trois manières : 1) en excentrique (les inverseurs de la cheville), 2) en concentrique (les éverseurs) et 3) globale ; les muscles de la cheville dans les limites de l'articulation.

Les résultats de cette étude permettront d'identifier les problèmes d'origines biomécaniques et neuromusculaires pouvant être à l'origine des problèmes d'instabilité de la cheville chez les étudiants artistes du CNAC, afin de mettre en place par la suite le programme le plus adéquat à la restauration d'une performance proprioceptive et musculaire satisfaisante en vue de prévenir les blessures.

Références

- Abdessemed D, Duché P, Hautier C, et al (1999) Effect of Recovery Duration on Muscular Power and Blood Lactate During the Bench Press Exercise. *Int J Sports Med* 20:368–373. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971146>
- Agnesina, G., Talbi, N., Taïar, R., Del Perugia, A., 2007. Analyse biomécanique des membres inférieurs chez l'artiste de cirque pour l'activité du cadre aérien., in: Congrès Français de Mécanique.
- Agre JC (1985) Hamstring Injuries. *Sports Med* 2:21–33. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502010-00003>
- Al-Kashmiri A, Delaney JS (2007) Case report: Fatigue fracture of the proximal fibula with secondary common peroneal nerve injury. *Clin Orthop* 463:225–228. <https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e31806008d9>
- Allen JS (1992) Educating performers. *Am Sch* 61:197–209
- Alter MJ (2004) Science of Flexibility. *Human Kinetics*
- Anderson CB (2004) Athletic Identity and Its Relation to Exercise Behavior: Scale Development and Initial Validation. *J Sport Exerc Psychol* 26:39–56. <https://doi.org/10.1123/jsep.26.1.39>
- Anderson CB (1996) The Athletic Identity Questionnaire: Development, initial validation, and relation to the stages of exercise adoption.
- Arnason A, Andersen TE, Holme I, et al. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:40–8, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x>.
- Asmussen E, Bonde-Petersen F, Jørgensen K (1976) Mechano-Elastic Properties of Human Muscles at Different Temperatures. *Acta Physiol Scand* 96:83–93. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1976.tb10173.x>
- Barberet, M.P., « L'artiste n'utilise pas son corps. Il est un corps », in *Médecine du cirque, Montpellier, L'Entretemps*, 2004, pp. 115-117.
- Barrault, D., 2014. La médecine du cirque. *Science & Sports* 29, 104–109.
- Barrault D, Goudard P (2004) Médecine du cirque, vingt siècles après Galien. *L'Entretemps* Centre Natl Arts Cirque Coll«Écrits Sur Sable
- Bergh U, Ekblom B (1979) Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. *Acta Physiol Scand* 107:33–37. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1979.tb06439.x>
- Bester, A., Coetzee, B., 2010. The anthropometric floor-item achievement determinants of young gymnasts. *S Afr J Res Sport Phys Educ Recreation* 32, 13–30.

- Bies ER, de la Rosa F, Berral J. Morphological study in Argentinean high performance gymnasts. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 2006; 8: 16-24
- Bishop D (2003) Warm up II. *Sports Med* 33:483–498
- Blanksby BA, Bloomfield J, Ponchard M, Ackland TR. The relationship between anatomical characteristics and swimming performance in state age-group championship competitors. *J Swim Res*. 1986;2:34–38.
- Brewer BJ. Mechanism of injury to the musculotendinous unit. *American Academy of Orthopaedic Surgeons: Instructional Lectures* 17: 354-358, 1960
- Buckner SB, Bacon NT, Bishop PA (2017) Recovery in Level 7–10 Women’s USA Artistic Gymnastics. *Int J Exerc Sci* 10:734
- Caine, D., Knutzen, K., Howe, W., Keeler, L., Sheppard, L., Henrichs, D., Fast, J., 2003. A three-year epidemiological study of injuries affecting young female gymnasts. *Physical Therapy in Sport* 4, 10–23. [https://doi.org/10.1016/S1466-853X\(02\)00070-6](https://doi.org/10.1016/S1466-853X(02)00070-6)
- Caine, D.J., Caine, C.G., Lindner, K.J., 1996. Epidemiology of Sports Injuries. *The Nurse Practitioner* 21, 142.
- Cameron N (1978) The methods of auxological anthropometry. In: *Human growth*. Springer, pp 35–90
- Carter, J.E.L. & Heath, B.H. (1990). *Somatotyping - Development and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Carter J.E.L (2002) Part 1: The Heath-Carter anthropometric somatotype-instruction manual. [Http://htthcmvwsomatotype.org/Heath—CarterManual Pdf](http://htthcmvwsomatotype.org/Heath—CarterManual Pdf) Retrieved 31 Janu-Uary 2013 3–4
- Carter JL (1970) The somatotypes of athletes—a review. *Hum Biol* 535–569
- Chinnasee, C., Nadzalan, A.M., Mohamad, N.I., Sazili, A.H.A., Hemapandha, W., Khan, T.K.A., Pimjan, L., Tan, K., 2018. Kinematics Analysis of Dominant and Non-Dominant Lower Limb during Knee Strike among MuayThai Beginners, in: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, p. 012006.
- Chockalingam, N., Chevalier, Tl., Young, Mk., Dangerfield, P.H., 2008. Marker placement for movement analysis in scoliotic patients: a critical analysis of existing systems. *Stud Health Technol Inform* 140, 166–169.
- Ciullo JV (1983) Biomechanics of the musculotendinous unit: relation to athletic performance and injury. *Clin Sports Med* 2:71–86
- Claessens AL, Lefevre J, Beunen G, Malina RM (1999) The contribution of anthropometric characteristics to performance scores in elite female gymnasts. *J Sports Med Phys Fitness* 39:355
- Cooley CH (1902) *Human nature and the social order*. New York: Scribner’s. Look-Glass Self? [Http://wizard.Ucr Edu/~Bkaplansoclibcoollkgl Html](http://wizard.Ucr Edu/~Bkaplansoclibcoollkgl Html)

- Cossin, M., 2015. *Mesure des efforts dynamiques dans les agrès de cirque*. École Polytechnique de Montréal.
- Cossin, M., Ross, A., Gosselin, F.P., 2017. Making single-point aerial circus disciplines safer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology* 231, 362–373.
- Council, N.R., 2001. *Musculoskeletal disorders and the workplace: low back and upper extremities*. National Academies Press.
- Couppé C, Kongsgaard M, Aagaard P, et al (2013) Differences in tendon properties in elite badminton players with or without patellar tendinopathy. *Scand J Med Sci Sports* 23:e89–e95
- Davis, R.B., Ounpuu, S., Tyburski, D., Gage, J.R., 1991. A gait analysis data collection and reduction technique.
- De Leva P (1996) Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *J Biomech* 29:1223–1230
- Del Vecchio, F.B., Franchini, E., Del Vecchio, A.H.M., Pieter, W., 2011. Energy absorbed by electronic body protectors from kicks in a taekwondo competition. *Biology of Sport* 28, 75.
- Denis, F., 1983. The Three Column Spine and Its Significance in the Classification of Acute Thoracolumbar Spinal Injuries. *Spine* 8, 817–831.
- Deroche T, Stephan Y, Lecocq G, Le Scanff C (2007) Les déterminants psychologiques de la blessure physique du sportif: une revue de littérature. *Psychol Fr* 52:389–402
- Di Cagno A, Baldari C, Battaglia C, et al (2010) Preexercise Static Stretching Effect on Leaping Performance in Elite Rhythmic Gymnasts. *J Strength Cond Res* 24:1995. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e34811>
- Douda H, Laparidis K, Tokmakidis S (2002) Long-term training induces specific adaptations on the physique of rhythmic sports and female artistic gymnasts. *Eur J Sport Sci* 2:1–13
- Douda HT, Toubekis AG, Avloniti AA, Tokmakidis SP (2008) Physiological and anthropometric determinants of rhythmic gymnastics performance. *Int J Sports Physiol Perform* 3:41–54
- Ekstrand J, Gillquist J, Liljedahl SO. Prevention of soccer injuries: supervision by doctors and physiotherapists. *American Journal of Sports Medicine* II: 116-120, 1983
- Elferink-Gemser M, Visscher C, Lemmink K, Mulder T (2004) Relation between multidimensional performance characteristics and level of performance in talented youth field hockey players. *J Sports Sci* 22:1053–1063
- Evans SL, Davy KP, Stevenson ET, Seals DR (1995) Physiological determinants of 10-km performance in highly trained female runners of different ages. *J Appl Physiol* 78:1931–1941

- Fletcher IM, Jones B (2004) The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. *J Strength Cond Res* 18:885–888
- Fradet, L., 2013. Etude biomécanique des traumatismes vertébro-médullaires du rachis humain (thesis). <http://www.theses.fr>. Aix-Marseille.
- Fradkin AJ, Zazryn TR, Smoliga JM (2010) Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24:140–148
- Frutuoso, A.S., Diefenthaeler, F., Vaz, M.A., Freitas, C. de la R., 2016. Lower limb asymmetries in rhythmic gymnastics athletes. *Int J Sports Phys Ther* 11, 34–43.
- Fuller CW, Molloy MG, Bagate C, et al (2007) Consensus statement on injury definitions and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. *Br J Sports Med* 41:328–331. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.033282>
- Garreau de Loubresse, C., Vialle, R., Wolff, S., 2005. Cyphoses pathologiques. *EMC - Rhumatologie-Orthopédie* 2, 294–334. <https://doi.org/10.1016/j.emcrho.2004.11.002>
- Genot C, DUFOUR M, A L, et al (1983) *Kinésithérapie 1 : principes, bilans, techniques passives et actives de l'appareil locomoteur*. Flammarion médecine-sciences, Paris
- Giampietro M, Pujia A, Bertini I (2003) Anthropometric features and bodycomposition of young athletes practicing karate at a high andmedium competitive level. *Acta Diabetol* 40:s145–s148. <https://doi.org/10.1007/s00592-003-0049-3>
- Gong, H., Zhang, M., Qin, L., Hou, Y., 2007. Regional variations in the apparent and tissue-level mechanical parameters of vertebral trabecular bone with aging using micro-finite element analysis. *Annals of biomedical engineering* 35, 1622–1631.
- Goudard (Ph.), *Bilan et perspectives de l'apport médical dans l'apprentissage et la pratique des arts du cirque en France*, thèse, médecine, Nancy I, dirigée par Michel Boura, 1989.
- Goudard (Ph.), Perrin (Ph.), Boura (M.), « Les arts du cirque : Histoire et spécificités d'une activité physique artistique, (2e partie), Performances acrobatiques au quotidien », in *Cinésiologie*, 1992 b, 31, (141), pp. 21-30.
- Goudard (Ph.), Perrin (Ph.), Boura (M.), « Intérêt du calcul de la charge de travail pendant l'apprentissage des arts du cirque », in *Cinesiologie*, 1992 a, 31, (143), pp. 141-150.
- Gourgoulis V, Aggeloussis N, Kasimatis P, et al. Effect of asubmaximal half-squats warm-up program on vertical jumpingability. *J Strength Cond Res* 2003;17:342—4 [PMID: 12741875].
- Graption, X., Lion, A., Gauchard, G.C., Barrault, D., Perrin, P.P., 2013. Specific injuries induced by the practice of trampoline, tumbling and acrobatic gymnastics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21, 494–499. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-1982-x>
- Halbertsma JPK, van Bolhuis AI, Göeken LNH (1996) Sport stretching: Effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. *Arch Phys Med Rehabil* 77:688–692. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(96\)90009-X](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(96)90009-X)

- Halliwill JR, Buck TM, Lacewell AN, Romero SA (2013) Postexercise hypotension and sustained postexercise vasodilatation: what happens after we exercise? *Exp Physiol* 98:7–18. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058065>
- Halliwill JR, Minson CT, Joyner MJ (2000) Effect of systemic nitric oxide synthase inhibition on postexercise hypotension in humans. *J Appl Physiol* 89:1830–1836. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.5.1830>
- Halliwill JR, Taylor JA, Eckberg DL (1996) Impaired sympathetic vascular regulation in humans after acute dynamic exercise. *J Physiol* 495:279–288. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1996.sp021592>
- Hamilton, G.M., Meeuwisse, W.H., Emery, C.A., Shrier, I., 2012. Examining the effect of the injury definition on risk factor analysis in circus artists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 22, 330–334.
- Hamilton LH, Hamilton WG, Meltzer JD, et al (1989) Personality, stress, and injuries in professional ballet dancers. *Am J Sports Med* 17:263–267. <https://doi.org/10.1177/036354658901700219>
- Hartig DE, Henderson JM (1999) Increasing Hamstring Flexibility Decreases Lower Extremity Overuse Injuries in Military Basic Trainees. *Am J Sports Med* 27:173–176. <https://doi.org/10.1177/03635465990270021001>
- Heath, B.H., & Carter, J.E.L. (1967). A modified somatotype method. *American Journal of Physical Anthropology*, 27, 57-74.
- Hedrick A (1992) Exercise physiology: physiological responses to warm-up. *Strength Cond J* 14:25–27
- Hind, K., Gannon, L., Whatley, E., Cooke, C., Truscott, J., 2012. Bone cross-sectional geometry in male runners, gymnasts, swimmers and non-athletic controls: a hip-structural analysis study. *Eur J Appl Physiol* 112, 535–541. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2008-y>
- Holdsworth, F.W., 1963. Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume* 45, 6–20.
- Hootman JM, Dick R, Agel J (2007) Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J Athl Train* 42:311–319
- Howell DW. Musculoskeletal profile and incidence of musculoskeletal injuries in lightweight women rowers. *Am J Sports Med* 1984;12:278–82, <http://dx.doi.org/10.1177/036354658401200407>.
- Hrdlicka, A., 1947, Hrdlicka's Practical Anthropometry, 3rd ed. (T. D. Stewart, ed.), The Wistar Institute, Philadelphia.
- Hume PA, Hopkins WG, Robinson DM, et al (1993) Predictors of attainment in rhythmic sportive gymnastics. *J Sports Med Phys Fitness* 33:367–377

- Irss, Ledoux (E.), Gangé (Ch.), Ouellet (F), Les risques du métier dans le domaine des arts de la scène. Une étude exploratoire, Rapport R-555, Études et recherches, Montréal, Institut Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2008.
- Jacobs SJ, Berson BL. Injuries to runners: a study of entrants to a 10,000 meter race. *Am J Sports Med* 1986;14:151—5, <http://dx.doi.org/10.1177/036354658601400211>.
- Jemni M, Friemel F, Lechevalier J-M, Origas M (2000) Heart rate and blood lactate concentration analysis during a high-level men's gymnastics competition. *J Strength Cond Res* 14:389–394
- Jemni M, Sands WA, Friemel F, Delamarche P (2003) Effect of active and passive recovery on blood lactate and performance during simulated competition in high level gymnasts. *Can J Appl Physiol* 28:240–256
- Joao, A., Fernandes Filho, J., 2002. Olympic Gymnastics: identification of the genetic profile, somatotype and psychology of female Brazilian athletes of highly qualified Olympic gymnasts. *Fit Perf J* 1, 12–20.
- Kallus (K.W.). -Der Erholungs-Belastungs-Fragebogen. Frankfurt: Swets & Zeitlinger, 1995.
- Kellmann, M., Kallus, K.W., 2001. Recovery-stress questionnaire for athletes: User manual. *Human Kinetics*.
- Kerr, G., 1990. Preventing gymnastic injuries. *Can J Sport Sci* 15, 227.
- Kerr, Z.Y., Hayden, R., Barr, M., Klossner, D.A., Dompier, T.P., 2015. Epidemiology of National Collegiate Athletic Association Women's Gymnastics Injuries, 2009–2010 Through 2013–2014. *J Athl Train* 50, 870–878. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.7.02>
- Kogan N (2002) Careers in the Performing Arts: A Psychological Perspective. *Creat Res J* 14:1–16. https://doi.org/10.1207/S15326934CRJ1401_1
- Kokkonen J, Nelson AG, Cornwell A (1998) Acute Muscle Stretching Inhibits Maximal Strength Performance. *Res Q Exerc Sport* 69:411–415. <https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607716>
- Konz, R.J., Fatone, S., Stine, R.L., Ganju, A., Gard, S.A., Ondra, S.L., 2006. A kinematic model to assess spinal motion during walking. *Spine* 31, E898–E906.
- Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, et al (2002) J. Potteiger, MH Stone, NA Ratamess, and T. Triplett-Mcbride. American College of Sports Medicine position stand. Progress Models Resist Train Healthy Adults *Med Sci Sports Exerc* 34:364–380
- Kreighbaum E (1996) Biomechanics. *Qual Approach Stud Hum Mov*
- Lamarre, M.-È., 2008. Conception d'une méthode standardisée pour évaluer la flexibilité de la colonne vertébrale (masters). École de technologie supérieure, Montréal.
- Lamme, E., 2011. The business of injury prevention in circus performance. *British Journal of Sports Medicine* 45, 314–315. <https://doi.org/10.1136/bjism.2011.084038.14>

- Leardini, A., Biagi, F., Merlo, A., Belvedere, C., Benedetti, M.G., 2011. Multi-segment trunk kinematics during locomotion and elementary exercises. *Clinical Biomechanics* 26, 562–571.
- Lee, J.Y., Vaccaro, A.R., Lim, M.R., Öner, F.C., Hulbert, R.J., Hedlund, R., Fehlings, M.G., Arnold, P., Harrop, J., Bono, C.M., Anderson, P.A., Anderson, D.G., Harris, M.B., Brown, A.K., Stock, G.H., Baron, E.M., 2005. Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma. *J Orthop Sci* 10, 671. <https://doi.org/10.1007/s00776-005-0956-y>
- Long, A.S., Ambegaonkar, J.P., Fahringer, P.M., 2011. Injury reporting rates and injury concealment patterns differ between high-school cirque performers and basketball players. *Medical problems of performing artists* 26, 200–205.
- MacDonald JR (2002) Potential causes, mechanisms, and implications of post exercise hypotension. *J Hum Hypertens* 16:225
- Magerl, F., Aebi, M., Gertzbein, S.D., Harms, J., Nazarian, S., 1994. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European Spine Journal* 3, 184–201.
- Mahood NV, Kenefick RW, Kertzer R, Quinn TJ (2001) Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Med Sci Sports Exerc* 33:1379–1384
- Marchant-Haycox SE, Wilson GD (1992) Personality and stress in performing artists. *Personal Individ Differ* 13:1061–1068. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(92\)90021-G](https://doi.org/10.1016/0191-8869(92)90021-G)
- Markus H, Cross S, Wurf E (1990) The role of the self-system in competence.
- Martos E. Performance measurement of female gymnasts. *Hung Rev Sport Med.* 1991;32(2):99–106.
- Massidda, M., Toselli, S., Brasili, P., M. Calo, C., 2013. Somatotype of Elite Italian Gymnasts. *Collegium antropologicum* 37, 853–857.
- McCall GJ, Simmons JL (1966) Identities and interactions.
- McNeal JR, Sands WA (2003) Acute Static Stretching Reduces Lower Extremity Power in Trained Children. *Pediatr Exerc Sci* 15:139–145. <https://doi.org/10.1123/pes.15.2.139>
- Mead GH (1934) *Mind, self and society*. Chicago University of Chicago Press.
- Menezes LS, Filho JF. Identification and comparison of dermatoglyphics, somatotype and basic physical aptitude characteristics of rhythmic gymnasts of different qualification levels. *Fit Perform J*, 2006; 5: 393-400
- Mermier CM, Janot JM, Parker DL, Swan JG (2000) Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *Br J Sports Med* 34:359–365
- Mersmann F, Bohm S, Arampatzis A (2017) Imbalances in the development of muscle and tendon as risk factor for tendinopathies in youth athletes: a review of current evidence and concepts of prevention. *Front Physiol* 8:987

- Mimura, M., Panjabi, M.M., Oxland, T.R., Crisco, J.J., Yamamoto, I., Vasavada, A., 1994. Disc degeneration affects the multidirectional flexibility of the lumbar spine. *Spine* 19, 1371–1380.
- Mizuno T, Matsumoto M, Umemura Y (2013) Decrements in stiffness are restored within 10 min. *Int J Sports Med* 34:484–490
- Munro, D., 2014. Injury Patterns and Rates Amongst Students at the National Institute of Circus Arts.
- Nicoll, E.A., 1949. Fractures of the dorso-lumbar spine. *J Bone Joint Surg Br* 31, 376–394.
- Opplert J, Babault N (2019) Acute Effects of Dynamic Stretching on Mechanical Properties Result From both Muscle-Tendon Stretching and Muscle Warm-Up. *J Sports Sci Med* 18:351
- Orlando, C., Levitan, E.B., Mittleman, M.A., Steele, R.J., Shrier, I., 2011. The effect of rest days on injury rates. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 21, e64–e71.
- Poliszczuk, T., Broda, D., Poliszczuk, D., 2012. Changes in Somatic Parameters and Dynamic Balance in Female Rhythmic Gymnasts Over a Space of Two Years: Changes in somatic and balance abilities of female gymnasts. *Polish Journal of Sport and Tourism* 19, 240–245. <https://doi.org/10.2478/v10197-012-0023-0>
- Prévost P. Rôle préventif de l'échauffement au niveau des articulations. *Sport Sante Prep Phys* 2003;7:7.
- Price, R.F., 2004. Acute head drop after cervical hyperflexion injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 75, 791–792.
- Proske U, Morgan DL, Gregory JE (1993) Thixotropy in skeletal muscle and in muscle spindles: A review. *Prog Neurobiol* 41:705–721. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(93\)90032-N](https://doi.org/10.1016/0301-0082(93)90032-N)
- Ramel E, Thorsson O, Wollmer P (1997) Fitness training and its effect on musculoskeletal pain in professional ballet dancers. *Scand J Med Sci Sports* 7:293–298
- Ranavolo, A., Don, R., Draicchio, F., Bartolo, M., Serrao, M., Padua, L., Cipolla, G., Pierelli, F., Iavicoli, S., Sandrini, G., 2013. Modelling the spine as a deformable body: Feasibility of reconstruction using an optoelectronic system. *Applied Ergonomics* 44, 192–199.
- Ratamess NA, Falvo MJ, Mangine GT, et al (2007) The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur J Appl Physiol* 100:1–17. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0394-y>
- Reid DA, Mcnair PJ (2004) Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med Sci Sports Exerc* 36:1944–1948
- Revel, M., 2003. Traumatisme cervical en coup de fouet: des concepts aux réalités, in: *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*. Elsevier, pp. 158–170.

- Richardson, A., Clarsen, B., Verhagen, E. a. L.M., Stubbe, J.H., 2017. High prevalence of self-reported injuries and illnesses in talented female athletes. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 3, e000199. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000199>
- Richmond SR, Godard MP (2004) The effects of varied rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *J Strength Cond Res* 18:846–849
- Romero SA, Minson CT, Halliwill JR (2017) The cardiovascular system after exercise. *J Appl Physiol* 122:925–932. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00802.2016>
- Ross, J., Bellemare, M., Ledoux, É., 2009. Les risques du métier dans le domaine des arts de la scène. Université Laval, Alliance de recherche universités-communautés Innovations ...
- Rowell LB (1993) Control of regional blood flow during dynamic exercise. *Hum Cardiovasc Control*
- Rowell LB, Detry JM, Blackmon JR, Wyss C (1972) Importance of the splanchnic vascular bed in human blood pressure regulation. *J Appl Physiol* 32:213–220
- Russel K. Gymnastic talent from detection to perfection. In: Petiot B, Salmela JH, Hoshizaki TB, eds. *World Identification Systems for Gymnastic Talent*. Montréal, Canada: Sport Psyche Editions; 1987:4–13.
- Sadeghi H, Allard P, Duhaime M (1997) Functional gait asymmetry in able-bodied subjects. *Hum Mov Sci* 16:243–258. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(96\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(96)00054-1)
- Safran MR, Garrett WE, Seaber AV, et al (1988) The role of warmup in muscular injury prevention. *Am J Sports Med* 16:123–129. <https://doi.org/10.1177/036354658801600206>
- Sands, W.A., 2000. Injury Prevention in Women's Gymnastics. *Sports Med* 30, 359–373. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030050-00004>
- Schmitt, A., Diger, M., Winter, S., 2017. Une cause traumatique de syndrome de la tête tombante. *Journal de Traumatologie du Sport* 34, 188–191.
- Sheldon, W. H., C. W. Dupertuis, and E. McDermott 1954 *Atlas of Men*. Harper Bros., New York.
- Sheldon, W. H., S. S. Stevens and W. B. Tucker 1940 *The Varieties of Human Physique*. Harper Bros., New York.
- Shellock FG, Prentice WE (1985) Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries. *Sports Med* 2:267–278
- Shigaki, L., Rabello, L.M., Camargo, M.Z., Santos, V.B. da C., Gil, A.W. de O., Oliveira, M.R. de, Silva Junior, R.A. da, Macedo, C. de S.G., 2013. Comparative analysis of one-foot balance in rhythmic gymnastics athletes. *Rev Bras Med Esporte*; 19, 104–107. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922013000200006>

- Shrier I (2004) Does stretching improve performance?: a systematic and critical review of the literature. *Clin J Sport Med* 14:267–273
- Shrier I, Hallé M (2010) Psychological predictors of injuries in circus artists: an exploratory study. *Br J Sports Med* bjsports67751. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.067751>
- Shrier I, Meeuwisse WH, Matheson GO, et al (2009) Injury patterns and injury rates in the circus arts: an analysis of 5 years of data from Cirque du Soleil. *Am J Sports Med* 37:1143–1149. <https://doi.org/10.1177/0363546508331138>
- Shrier, I., Raglin, J.S., Levitan, E.B., Mittleman, M.A., Steele, R.J., Powell, J., 2014. Procedures for assessing psychological predictors of injuries in circus artists: a pilot prospective study. *BMC medical research methodology* 14, 77.
- Slezynski, J., Swiat, T., 1997. Construction of somatic athletes in sports acrobatics. *Wychow Fiz Sport* 41, 39–60.
- Smith CA (1994) The warm-up procedure: to stretch or not to stretch. A brief review. *J Orthop Sports Phys Ther* 19:12–17
- Stryker S, Serpe RT (1982) Commitment, identity salience, and role behavior: Theory and research example. In: *Personality, roles, and social behavior*. Springer, pp 199–218
- Stryker S, Statham A (1985) Symbolic interaction and role theory. *Handb Soc Psychol* 1:311–378
- Stubbe, J.H., Richardson, A., Rijn, R.M. van, 2018. Prospective cohort study on injuries and health problems among circus arts students. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 4, e000327. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000327>
- Swarm Jr WB (1983) Self-verification: Bringing social reality into harmony with the self. *Soc Psychol Perspect Self* 2:33–66
- Taboada-Iglesias, Y., Santana, M.V., Gutiérrez-Sánchez, Á., 2015. Anthropometric profile of elite acrobatic gymnasts and prediction of role performance. *J Sports Med Phys Fitness* 56, 433–442.
- Taboada-Iglesias, Y., Santana, M.V., Gutiérrez-Sánchez, Á., 2017. Anthropometric Profile in Different Event Categories of Acrobatic Gymnastics. *Journal of Human Kinetics* 57, 169–179. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0058>
- Trial, W., 2013. Kinematics Comparison between Dominant and Non-Dominant Lower Limbs in Thai Boxing.
- Trial, W., Wu, T., 2014. A kinematic analysis of the Thai boxing clinch. *Advances in Biomechanics & Applications* 1, 57.
- Uhlig T, Kallus KW (2004) Stress and stress disorders during and after intensive care. *Curr Opin Anesthesiol* 17:131–135

- Veres SP, Harrison JM, Lee JM (2013) Repeated subrupture overload causes progression of nanoscaled discrete plasticity damage in tendon collagen fibrils. *J Orthop Res* 31:731–737
- Wanke EM, McCormack M, Koch F, et al (2012) Acute Injuries in Student Circus Artists with Regard to Gender Specific Differences. *Asian J Sports Med* 3:153–160
- Westermann, R.W., Giblin, M., Vaske, A., Grosso, K., Wolf, B.R., 2015. Évaluation des blessures de gymnastique masculine et féminine : une étude observationnelle de 10 ans. *Sports Health* 7, 161–165. <https://doi.org/10.1177/1941738114559705>
- Williams PE, Goldspink G (1973) The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscle fibres. *J Anat* 116:45
- Williams PE, Goldspink G (1978) Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. *J Anat* 127:459
- Wolfenden, H., Angioi, M., 2017. Musculoskeletal Injury Profile of Circus Artists: A Systematic Review of the Literature. *Medical Problems of Performing Artists* 32, 51–59. <https://doi.org/10.21091/mppa.2017.1008>
- Wolff, J., 2012. The law of bone remodelling. Springer Science & Business Media.
- Woo, J.H., Ko, J.Y., Choi, E.Y., Her, J.G., O’sullivan, D.M., 2013. Development and evaluation of a novel taekwondo chest protector to improve mobility when performing axe kicks. *Biology of sport* 30, 51.
- Woods K, Bishop P, Jones E (2007) Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med* 37:1089–1099
- Wyon M. Cardiorespiratory training for dancers. *J Dance Med Sci* 2005; 1:7-12.
- Zarins B, Ciullo JV (1983) ACute muscle and tendon injuries in athletes. *Clin Sports Med* 2:167–182

Annexes

Annexes 1 :



Répartition des ECTS du DNSP AC - Diplôme national supérieur professionnel d'artiste de cirque

DNSP2 - CNAC

UE 1 : Tronc commun transdisciplinaire	Nb. Heures requises DNSP2	ECTS DNSP
Histoire de l'art - du cirque - des théories et des formes - des représentations du corps	30	8
Analyse critique des œuvres	30	
Sous total	60	8

UE 2 : Fondamentaux disciplinaires théoriques	Nb. Heures requises DNSP2	ECTS DNSP
Sécurité	17,3	8
Dramaturgie et écritures circassiennes	13	
Esthétiques du cirque	7,3	
Droit et économie du spectacle vivant - gestion de projet	13	
Sous total	55	8

UE 3 : Fondamentaux disciplinaires pratiques	Nb. Heures requises DNSP2	ECTS DNSP
Disciplines de cirque (préparation physique - spécialisation - complémentaires techniques et artistiques)	430	40
Danse	90	
Théâtre	90	
Musique	40	
Atelier de recherche et de création / présentations publiques	150	
Sous total	820	40

UE 4 : Renforcement et/ou élargissement du champ disciplinaire	Nb. Heures requises DNSP2	ECTS DNSP
Arts et techniques du spectacle (lumières - scénographie - son)	20	4
FLE - Anglais	30	
Sensibilisation au monde du travail (stage en entreprise)	30	
Séminaire d'analyse critique des œuvres	15	
Sous total	95	
TOTAL	1080	60

DNSP3 - CNAC

UE 1 : Tronc commun transdisciplinaire	Nb. Heures requises DNSP3	ECTS DNSP
Histoire de l'art - du cirque - des théories et des formes - des représentations du corps	30	8
Analyse critique des œuvres	30	
Philosophie de l'art	15	
Sous total	75	8

UE 2 : Fondamentaux disciplinaires théoriques	Nb. Heures requises DNSP3	ECTS DNSP
Sécurité	17,3	8
Dramaturgie et écritures circassiennes	13	
Esthétiques du cirque	7,3	
Droit et économie du spectacle vivant - gestion de projet	20	
Sous total	60	8

UE 3 : Fondamentaux disciplinaires pratiques	Nb. Heures requises DNSP3	ECTS DNSP
Disciplines de cirque (préparation physique - spécialisation - complémentaires techniques et artistiques)	430	40
Danse	90	
Théâtre	90	
Musique	40	
Atelier de recherche et de création / présentations publiques	120	
Interprète de cirque (création du spectacle de fin d'études)	150	
Sous total	1040	40

UE 4 : Renforcement et/ou élargissement du champ disciplinaire	Nb. Heures requises DNSP3	ECTS DNSP
Arts et techniques du spectacle (lumières - scénographie - son)	20	4
FLE - Anglais	30	
Méthodologie du mémoire / outils de gestion de carrière / communication	10	
Sous total	60	4
Total	1285	60

Annexes 2 :

Tableau 11 : Blessures (présence et emplacement), échauffement et approche psychologique des étudiants artistes du CNAC.

Sujet	Blessures	Mb Inf	Mb Sup	Tronc	Nuque	Total	Étirement	Cardio	Sportif
BH	oui	1	0	0	1	2	oui	non	oui
VJ	non	0	0	0	0	0	non	oui	oui
PM	oui	0	0	0	0	0	oui	oui	oui
RM	oui	0	1	0	0	1	oui	oui	non
PB	oui	0	1	1	0	2	oui	non	non
AR	oui	2	0	0	0	2	oui	non	non
EH	non	0	0	0	0	0	non	oui	non
PT	oui	2	0	1	0	3	oui	non	non
BG	non	0	0	0	0	0	non	oui	oui
RS	oui	0	0	1	0	1	non	oui	1/2/1/2
LL	non	0	0	0	0	0	non	oui	1/2/1/2
DN	oui	2	0	0	0	2	oui	non	non
PP	oui	2	0	0	0	2	non	oui	oui
SJ	oui	0	1	1	0	2	non	non	non
PL	oui	1	2	0	0	3	oui	non	non
CL	oui	1	2	0	0	3	oui	oui	oui
CJ	oui	1	0	1	0	2	non	oui	non
ET	oui	1	1	0	0	2	oui	non	1/2/1/2
BF	oui	0	1	0	0	1	non	oui	non
RHA	oui	1	0	0	0	1	non	oui	oui
SS	oui	1	1	1	0	3	oui	oui	1/2/1/2
BHI	oui	0	1	1	0	2	oui	oui	non
PN	oui	3	1	1	0	5	oui	non	non
NQJ	oui	1	0	0	0	1	oui	non	non
DMFL	non	0	0	0	0	0	oui	oui	non
BA	oui	2	1	0	0	3	oui	non	non
DC	oui	1	0	0	0	1	oui	non	oui
PTh	oui	0	3	0	3	6	non	non	non
BN	non	0	0	0	0	0	oui	non	oui
VE	non	0	0	0	0	0	oui	non	non
EA	oui	0	0	0	0	0	oui	oui	non
Total		22	16	8	4	50			

Non-aérien

Aérien

Tableau 12 : Sévérité, emplacement anatomique et nombre des blessures par étudiant artiste.

Sévérité, Emplacement et N° Blessure			
Sujet	Mineur	Moyenne	Grave
B H	0	1 nuque	1 genou
V J	0	0	0
P M	0	0	0
R M	0	0	1 épaule
P B	1 tronc	1 épaule	0
A R	0	0	2 cheville
E H	0	0	0
P T	3 (2 cheville/1 tronc)	0	0
B G	0	0	0
R S	0	0	1 tronc
L L	0	0	0
D N	2 (1 cheville/1 genou)	0	0
P P	1 tibia	1 cheville	0
S J	2 (1 tronc/1 poignet)	0	0
P L	1 cheville	1 épaule	1 épaule
C L	3 (1 cheville/1 coude/1 épaule)	0	0
C J	0	1 tronc	1 genou
E T	1 cheville	1 épaule	0
B F	0	1 épaule	0
R H A	0	0	1 cheville
S S	2 (1 avant-bras/1 tronc)	0	1 cheville
B H I	0	1 coude	1 tronc
P N	3 genou	0	2 (1 tronc/1 poignet)
N Q J	0	1 cheville	0
D M F L	0	0	0
B A	2 (1 cheville/1 épaule)	1 cheville	0
D C	0	0	1 cheville
P Th	0	4 (3 nuque/1 coude)	2 poignet
B N	0	0	0
V E	0	0	0
E A	0	0	0

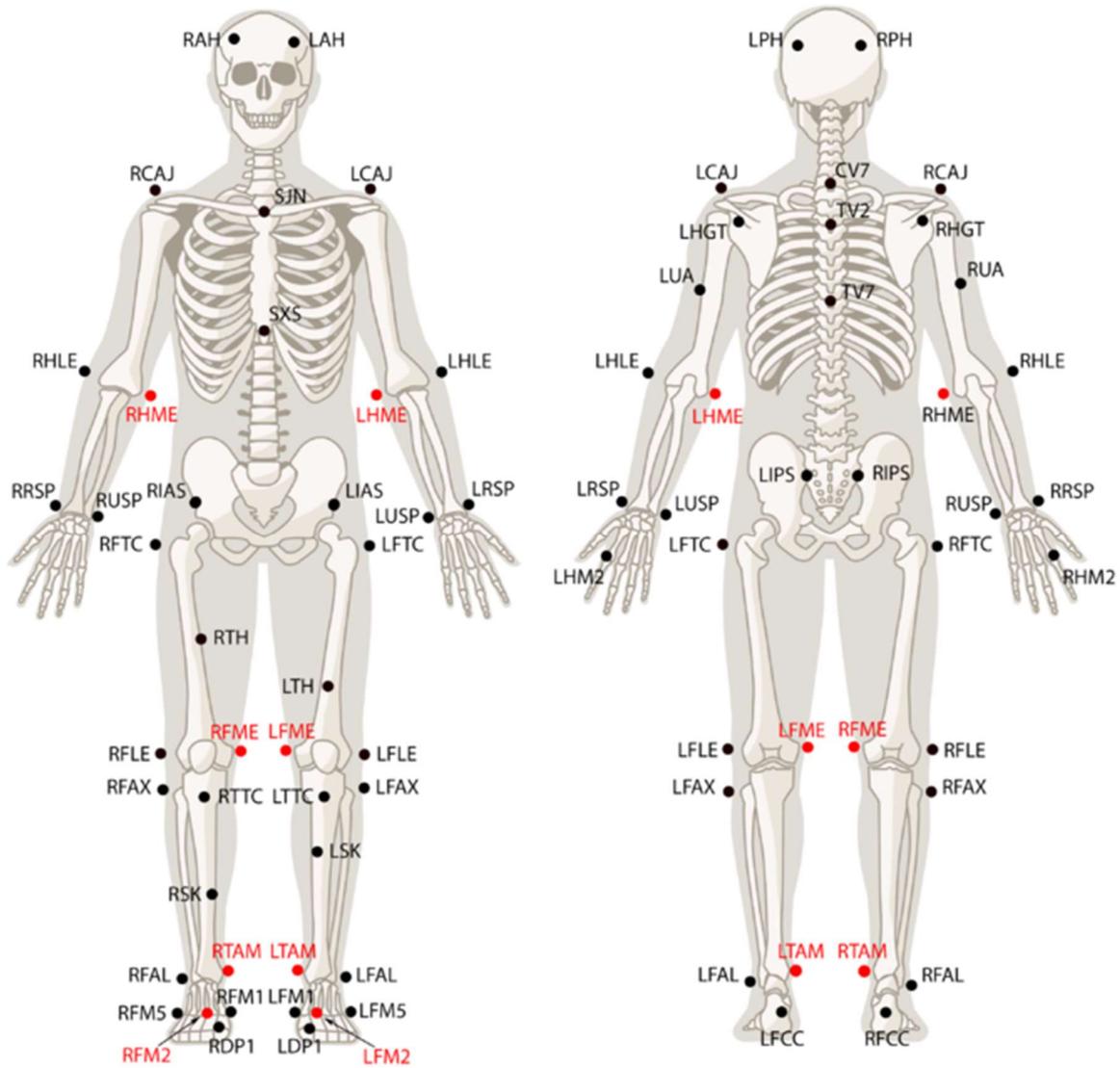
□ Non-aérien

■ Aérien

Annexes 3 :

Vues antérieures et postérieures du Biomech Markerset (57).

Les marqueurs d'étalonnage sont affichés en rouge.



Leardini, A., Biagi, F., Merlo, A., Belvedere, C., Benedetti, M.G., 2011. Multi-segment trunk kinematics during locomotion and elementary exercises. Clin. Biomech. 26, 562-571.

Annexes 4 :

Script du code général

```
#####  
#  
# Quantitative analysis of spine local deformation  
#  
# Hassen Hakim, Olivier Nocent (c) 2019-2020  
#  
# Contact:  
#   hakimhassen@yahoo.fr  
#   olivier.nocent@univ-reims.fr  
#  
#####  
#  
# local_deformation.py  
#  
# 1. compute min and max curvature along the spine  
# 2. indentify "out of range" region in the spine curvature after a knee kick  
# 3. compute local deformations in the "out of range" regions  
#  
#####  
  
# -*- coding: utf-8 -*-  
import sys  
from math import *  
import matplotlib.pyplot as plt  
from matplotlib.patches import Polygon  
import numpy as np  
import spine as sp  
  
fig = plt.figure()  
  
#####  
#  
# Spine neutral position data: load & process  
#  
#####  
  
# Load global data (world reference frame) from file (spine.py)  
g_knee_data = sp.load_marker_data("../data/coup genou 1 excel.csv")  
  
# Transform data into a local reference frame (spine.py)  
l_knee_data = sp.transform_to_local(g_knee_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])  
  
# Extract local data for a single animation frame (spine.py)  
l_neutral_frame = sp.extract_frame(l_knee_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8",  
"T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], 280)  
  
# Extract marker positions  
marker_x = []  
marker_y = []  
  
for key in ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6",  
"VX"]:  
    marker_x.append(l_neutral_frame["y"][key])  
    marker_y.append(0)  
  
min_curv = []  
max_curv = []
```

```

try:
#####
#
# Load min and max curvature from file
#
#####

minmax_datafile = open("minmax_curv.csv", "r")
while True:
    line = minmax_datafile.readline()

    if line == "":
        break

    value = line.split(";")

    min_curv.append(float(value[0]))
    max_curv.append(float(value[1]))

minmax_datafile.close()

except FileNotFoundError:
#####
#
# Compute min and max curvature from flexion, extension and
# position before kick data
#
#####

#
# Initialize min and max curvatures arrays
#
mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
for i in range(len(mkr)-1):
    _from = mkr[i]
    _to   = mkr[i+1]

    y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - l_neutral_frame["y"][_from]
    for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
        min_curv.append(1000000)
        max_curv.append(-1000000)

#####
#
# Position before kick data: load & process
#
#####
for f in range(280, 533):
    print("knee kick F" + str(f))

    # Extract local data for a single animation frame (spine.py)
    l_neutral_frame = sp.extract_frame(l_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8",
"T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], f)

    #
    # Compute interpolation polynomial
    #
    absc = list(l_neutral_frame["y"].values())
    ordn = list(l_neutral_frame["z"].values())
    c_neutral = np.polyfit(absc, ordn, 5)

    neutral_curv = []

    mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
    for i in range(len(mkr)-1):
        _from = mkr[i]

```

```

_to = mkr[i+1]

y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - l_neutral_frame["y"][_from]

for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
    neutral_curv.append( sp.eval_curvature(c_neutral,
l_neutral_frame["y"][_from] + y) )

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(neutral_curv),len(min_curv))):
    if neutral_curv[i]>max_curv[i]:
        max_curv[i] = neutral_curv[i]

    if neutral_curv[i]<min_curv[i]:
        min_curv[i] = neutral_curv[i]

#####
#
# Maximal flexion data: load & process
#
#####
g_data = sp.load_marker_data("../data/Flexion avant excel.csv")
l_data = sp.transform_to_local(g_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])

for f in range(1, 197):
    print("flexion F" + str(f))

    # Extract local data for a single animation frame (spine.py)
    l_flexion_frame = sp.extract_frame(l_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8",
"T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], f)

    absc = list(l_flexion_frame["y"].values())
    ordn = list(l_flexion_frame["z"].values())
    c_flexion = np.polyfit(absc, ordn, 5)

    # Compute local curvature along each interpolation polynomial
    absc = []
    flexion_curv = []

    mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
    for i in range(len(mkr)-1):
        _from = mkr[i]
        _to = mkr[i+1]

        y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - l_neutral_frame["y"][_from]

        y_flexion_range = l_flexion_frame["y"][_to] - l_flexion_frame["y"][_from]
        y_flexion_ratio = y_flexion_range / y_neutral_range

        for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
            absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)
            flexion_curv.append( sp.eval_curvature(c_flexion,
l_flexion_frame["y"][_from] + y*y_flexion_ratio) )

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(flexion_curv),len(min_curv))):
    if flexion_curv[i]>max_curv[i]:
        max_curv[i] = flexion_curv[i]

    if flexion_curv[i]<min_curv[i]:
        min_curv[i] = flexion_curv[i]

for f in range(198, 510):
    print("flexion F" + str(f))

```

```

l_flexion_frame = sp.extract_frame(l_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8",
"T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], f)

absc = list(l_flexion_frame["z"].values())
ordn = list(l_flexion_frame["y"].values())
c_flexion = np.polyfit(absc, ordn, 5)

# Compute local curvature along each interpolation polynomial
absc = []
flexion_curv = []

mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
for i in range(len(mkr)-1):
    _from = mkr[i]
    _to = mkr[i+1]

    y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - l_neutral_frame["y"][_from]

    y_flexion_range = l_flexion_frame["z"][_to] - l_flexion_frame["z"][_from]
    y_flexion_ratio = y_flexion_range / y_neutral_range

    for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
        absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)
        flexion_curv.append( sp.eval_curvature(c_flexion,
l_flexion_frame["z"][_from] + y*y_flexion_ratio) )

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(flexion_curv), len(min_curv))):
    if -flexion_curv[i] > max_curv[i]:
        max_curv[i] = -flexion_curv[i]

    if -flexion_curv[i] < min_curv[i]:
        min_curv[i] = -flexion_curv[i]

#####
#
# Maximal extension data: load & process
#
#####
g_data = sp.load_marker_data("../data/Extension.csv")
l_data = sp.transform_to_local(g_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])

for f in range(844):
    print("extension F" + str(f))

l_extension_frame = sp.extract_frame(l_data, ["ORI", "L1", "T8", "T7", "T6",
"T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], f)

absc = list(l_extension_frame["y"].values())
ordn = list(l_extension_frame["z"].values())
c_extension = np.polyfit(absc, ordn, 5)

absc = []
extension_curv = []

mkr = ["ORI", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
for i in range(len(mkr)-1):
    _from = mkr[i]
    _to = mkr[i+1]

    y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - l_neutral_frame["y"][_from]
    y_extension_range = l_extension_frame["y"][_to] -
l_extension_frame["y"][_from]
    y_extension_ratio = y_extension_range / y_neutral_range

```

```

    for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
        absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)
        extension_curv.append( sp.eval_curvature(c_extension,
l_extension_frame["y"][_from] + y*y_extension_ratio) )

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(extension_curv),len(min_curv))):
    if extension_curv[i]>max_curv[i]:
        max_curv[i] = extension_curv[i]

    if extension_curv[i]<min_curv[i]:
        min_curv[i] = extension_curv[i]

#####
#
# Save min and max curvature into a CSV file
#
#####
curv_file = open("minmax_curv.csv", "w")
for j in range(len(min_curv)):
    curv_file.write(str(min_curv[j]) + ";" + str(max_curv[j]) + "\n")
curv_file.close()

lowerspines_file = open("lower_spine.csv", "w")
lowerspines_file.write("Frame;Begin;End;"+"Max curvature"+";"+"Ref curvature"\n")
upperspines_file = open("upper_spine.csv", "w")
upperspines_file.write("Frame;Begin;End;"+"Max curvature"+";"+"Ref curvature"\n")

#####
#
# position after kick data: load & process
#
#####
framecount = 1
for f in range(533, 853):
    if f == 548:
        continue

    begin = -1
    end = -1

    l_knee_frame = sp.extract_frame(l_knee_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8",
"T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], f)

    absc = list(l_knee_frame["y"].values())
    ordn = list(l_knee_frame["z"].values())
    c_knee = np.polyfit(absc, ordn, 5)

    # Compute local curvature along each interpolation polynomial
    absc = []
    knee_curv = []

    mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
    for i in range(len(mkr)-1):
        _from = mkr[i]
        _to = mkr[i+1]

        y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - l_neutral_frame["y"][_from]

        y_knee_range = l_knee_frame["y"][_to] - l_knee_frame["y"][_from]
        y_knee_ratio = y_knee_range / y_neutral_range

        for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
            absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)

```

```

    knee_curv.append( sp.eval_curvature(c_knee, l_knee_frame["y"][_from] +
y*y_knee_ratio) )

for k in range(len(knee_curv)):
    if (knee_curv[k]>max_curv[k] and begin == -1):
        begin = k

    if (knee_curv[k]<max_curv[k] and begin != -1):
        end = k

    maximum = sp.get_max(knee_curv, begin, end)

    knee_curv_max = maximum["value"]
    normal_curv_max = max_curv[ maximum["index"] ]

    line = str(f) + ";" + str(begin/1000) + ";" + str(end/1000) + ";" +
str(knee_curv_max) + ";" + str(normal_curv_max) + "\n"
    if end < 200:
        lowerspine_file.write(line)
    else:
        upperspine_file.write(line)

    print(f, begin, end)
    begin = -1

fig, ax = plt.subplots()

verts = [(0, 0), *zip(absc, max_curv), (absc[-1], 0)]
poly = Polygon(verts, facecolor='#1A825280', edgecolor='#1A825280')
ax.add_patch(poly)

verts = [(0, 0), *zip(absc, min_curv), (absc[-1], 0)]
poly = Polygon(verts, facecolor='#1A825280', edgecolor='#1A825280')
ax.add_patch(poly)

plt.plot(absc, min_curv, '#1A8252')
plt.plot(absc, max_curv, '#1A8252')

plt.plot([0,1], [0,0], "k")
plt.plot(marker_x, marker_y, "k.")
#plt.plot(absc, neutral_curv, "b", label="position neutre")
plt.plot(absc, knee_curv, "r", label="Frame " + str(f))

plt.ylabel('K')
plt.xlim(left=0,right=0.6)
plt.ylim(bottom=-20,top=25)
plt.title('spine curvature (knee kick)')
plt.legend()

filename = str(framecount) + ".png"
if framecount < 100:
    filename = "0" + filename
if framecount < 10:
    filename = "0" + filename

print(filename)
fig.savefig("video/kneekick/" + filename, dpi=300)

plt.clf()
framecount += 1

lowerspine_file.close()
upperspine_file.close()

```

```
#####
```

```

#
# Quantitative analysis of spine local deformation
#
# Hassen Hakim, Olivier Nocent (c) 2019-2020
#
# Contact:
#   hakimhassen@yahoo.fr
#   olivier.nocent@univ-reims.fr
#
#####
#
# local_deformation.py
#
# 1. compute min and max curvature along the spine
# 2. indentify "out of range" region in the spine curvature after a knee kick
# 3. compute local deformations in the "out of range" regions
#
#####

# -*- coding: utf-8 -*-
import sys
from math import *
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.patches import Polygon
import numpy as np
import spine as sp

fig = plt.figure()

#####
#
# Knee kick position data: load & process
#
#####

# Load global data (world reference frame) from file (spine.py)
g_knee_data = sp.load_marker_data("../data/coup genou 1 excel.csv")

# Transform data into a local reference frame (spine.py)
l_knee_data = sp.transform_to_local(g_knee_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])

# Extract local data for a single animation frame (spine.py)
l_neutral_frame = sp.extract_frame(l_knee_data, [
    "ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5",
    "T3", "T1", "C6", "VX"], 280)

# Extract marker positions
marker_x = []
marker_y = []

for key in ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6",
"VX"]:
    marker_x.append(l_neutral_frame["y"][key])
    marker_y.append(0)

min_curv = []
max_curv = []

try:
    #####
    #
    # Load min and max curvature from file
    #
    #####

    minmax_datafile = open("minmax_curv.csv", "r")
    while True:

```

```

line = minmax_datafile.readline()

if line == "":
    break

value = line.split(";")

min_curv.append(float(value[0]))
max_curv.append(float(value[1]))

minmax_datafile.close()

except FileNotFoundError:
#####
#
# Compute min and max curvature from flexion, extension and
# position before kick data
#
#####

#
# Initialize min and max curvatures arrays
#
mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7",
       "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
for i in range(len(mkr)-1):
    _from = mkr[i]
    _to = mkr[i+1]

    y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - \
        l_neutral_frame["y"][_from]
    for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
        min_curv.append(1000000)
        max_curv.append(-1000000)

#####
#
# Position before kick data: load & process
#
#####
for f in range(280, 533):
    print("knee kick F" + str(f))

    # Extract local data for a single animation frame (spine.py)
    l_neutral_frame = sp.extract_frame(l_knee_data, [
        "ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7",
" T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], f)

    #
    # Compute interpolation polynomial
    #
    absc = list(l_neutral_frame["y"].values())
    ordn = list(l_neutral_frame["z"].values())
    c_neutral = np.polyfit(absc, ordn, 5)

    neutral_curv = []

    mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7",
          "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
    for i in range(len(mkr)-1):
        _from = mkr[i]
        _to = mkr[i+1]

        y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - \
            l_neutral_frame["y"][_from]

        for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
            neutral_curv.append(sp.eval_curvature(

```

```

        c_neutral, l_neutral_frame["y"][_from] + y))

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(neutral_curv), len(min_curv))):
    if neutral_curv[i] > max_curv[i]:
        max_curv[i] = neutral_curv[i]

    if neutral_curv[i] < min_curv[i]:
        min_curv[i] = neutral_curv[i]

#####
#
# Maximal flexion data: load & process
#
#####
g_data = sp.load_marker_data("../data/Flexion avant excel.csv")
l_data = sp.transform_to_local(g_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])

for f in range(1, 197):
    print("flexion F" + str(f))

    # Extract local data for a single animation frame (spine.py)
    l_flexion_frame = sp.extract_frame(
        l_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1",
"C6", "VX"], f)

    absc = list(l_flexion_frame["y"].values())
    ordn = list(l_flexion_frame["z"].values())
    c_flexion = np.polyfit(absc, ordn, 5)

    # Compute local curvature along each interpolation polynomial
    absc = []
    flexion_curv = []

    mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7",
        "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
    for i in range(len(mkr)-1):
        _from = mkr[i]
        _to = mkr[i+1]

        y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - \
            l_neutral_frame["y"][_from]

        y_flexion_range = l_flexion_frame["y"][_to] - \
            l_flexion_frame["y"][_from]
        y_flexion_ratio = y_flexion_range / y_neutral_range

        for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
            absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)
            flexion_curv.append(sp.eval_curvature(
                c_flexion, l_flexion_frame["y"][_from] + y*y_flexion_ratio))

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(flexion_curv), len(min_curv))):
    if flexion_curv[i] > max_curv[i]:
        max_curv[i] = flexion_curv[i]

    if flexion_curv[i] < min_curv[i]:
        min_curv[i] = flexion_curv[i]

for f in range(198, 510):
    print("flexion F" + str(f))

    l_flexion_frame = sp.extract_frame(

```

```

l_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1",
"C6", "VX"], f)

absc = list(l_flexion_frame["z"].values())
ordn = list(l_flexion_frame["y"].values())
c_flexion = np.polyfit(absc, ordn, 5)

# Compute local curvature along each interpolation polynomial
absc = []
flexion_curv = []

mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7",
       "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
for i in range(len(mkr)-1):
    _from = mkr[i]
    _to = mkr[i+1]

    y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - \
        l_neutral_frame["y"][_from]

    y_flexion_range = l_flexion_frame["z"][_to] - \
        l_flexion_frame["z"][_from]
    y_flexion_ratio = y_flexion_range / y_neutral_range

    for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
        absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)
        flexion_curv.append(sp.eval_curvature(
            c_flexion, l_flexion_frame["z"][_from] + y*y_flexion_ratio))

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(flexion_curv), len(min_curv))):
    if -flexion_curv[i] > max_curv[i]:
        max_curv[i] = -flexion_curv[i]

    if -flexion_curv[i] < min_curv[i]:
        min_curv[i] = -flexion_curv[i]

#####
#
# Maximal extension data: load & process
#
#####
g_data = sp.load_marker_data("../data/Extension.csv")
l_data = sp.transform_to_local(g_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])

for f in range(844):
    print("extension F" + str(f))

    l_extension_frame = sp.extract_frame(
        l_data, ["ORI", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"],
f)

    absc = list(l_extension_frame["y"].values())
    ordn = list(l_extension_frame["z"].values())
    c_extension = np.polyfit(absc, ordn, 5)

    absc = []
    extension_curv = []

    mkr = ["ORI", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
    for i in range(len(mkr)-1):
        _from = mkr[i]
        _to = mkr[i+1]

        y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - \
            l_neutral_frame["y"][_from]

```

```

y_extension_range = l_extension_frame["y"][_to] - \
    l_extension_frame["y"][_from]
y_extension_ratio = y_extension_range / y_neutral_range

for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
    absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)
    extension_curv.append(sp.eval_curvature(
        c_extension, l_extension_frame["y"][_from] +
y*y_extension_ratio))

#
# update min and max curvature arrays
#
for i in range(min(len(extension_curv), len(min_curv))):
    if extension_curv[i] > max_curv[i]:
        max_curv[i] = extension_curv[i]

    if extension_curv[i] < min_curv[i]:
        min_curv[i] = extension_curv[i]

#####
#
# Save min and max curvature into a CSV file
#
#####
curv_file = open("minmax_curv.csv", "w")
for j in range(len(min_curv)):
    curv_file.write(str(min_curv[j]) + ";" + str(max_curv[j]) + "\n")
curv_file.close()

lowerspines_file = open("lower_spine.csv", "w")
lowerspines_file.write(
    "Frame;Begin;End;"+"Ref curvature"+"Max curvature"+"Ref Length ORI-
L3"+"Max Length ORI-L3"+"Knee Length ORI-L3"\n")
upperspines_file = open("upper_spine.csv", "w")
upperspines_file.write(
    "Frame;Begin;End;"+"Ref curvature"+"Max curvature"+"Ref Length T8-T7"+"Max
Length T8-T7"+"Knee Length T8-T7"\n")

#####
#
# position after kick data: load & process
#
#####
framecount = 1
for f in range(533, 853):
    if f == 548:
        continue

    begin = -1
    end = -1

    l_knee_frame = sp.extract_frame(l_knee_data, [
        "ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6",
"T5", "T3", "T1", "C6", "VX"], f)

    absc = list(l_knee_frame["y"].values())
    ordn = list(l_knee_frame["z"].values())
    c_knee = np.polyfit(absc, ordn, 5)

    # Compute local curvature along each interpolation polynomial
    absc = []
    knee_curv = []

    mkr = ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7",
        "T6", "T5", "T3", "T1", "C6", "VX"]
    for i in range(len(mkr)-1):

```

```

    _from = mkr[i]
    _to = mkr[i+1]

    y_neutral_range = l_neutral_frame["y"][_to] - \
        l_neutral_frame["y"][_from]

    y_knee_range = l_knee_frame["y"][_to] - l_knee_frame["y"][_from]
    y_knee_ratio = y_knee_range / y_neutral_range

    for y in np.arange(0, y_neutral_range, 0.001):
        absc.append(l_neutral_frame["y"][_from] + y)
        knee_curv.append(sp.eval_curvature(
            c_knee, l_knee_frame["y"][_from] + y*y_knee_ratio))

for k in range(len(knee_curv)):
    if (knee_curv[k] > max_curv[k] and begin == -1):
        begin = k

    if (knee_curv[k] < max_curv[k] and begin != -1):
        end = k

    #
    # Curvature
    #
    maximum = sp.get_max(knee_curv, begin, end)
    knee_curv_max = maximum["value"]
    normal_curv_max = max_curv[maximum["index"]]

    #
    # Elongation
    #
    if end < 200:
        # From ORI to L1
        elongation = sp.curve_length(
            c_knee, 0, l_knee_frame["y"]["L3"], 0.001)

        line = str(f) + ";" + str(begin/1000) + ";" + str(end/1000) + \
            ";" + str(normal_curv_max) + ";" + str(knee_curv_max) + \
            ";0.03566250223501176;0.05532387594304621;" + str(elongation) +
"\n"

        lowerspine_file.write(line)

    else:
        # From L1 to T5
        elongation = sp.curve_length(
            c_knee, l_knee_frame["y"]["T8"], l_knee_frame["y"]["T7"],
0.001)

        line = str(f) + ";" + str(begin/1000) + ";" + str(end/1000) + \
            ";" + str(normal_curv_max) + ";" + str(knee_curv_max) + \
            ";0.02921539321148785;0.03301193520224953;" + str(elongation) +
"\n"

        upperspine_file.write(line)

    print(f, begin, end)
    begin = -1

"""
fig, ax = plt.subplots()

verts = [(0, 0), *zip(absc, max_curv), (absc[-1], 0)]
poly = Polygon(verts, facecolor='#1A825280', edgecolor='#1A825280')
ax.add_patch(poly)

verts = [(0, 0), *zip(absc, min_curv), (absc[-1], 0)]
poly = Polygon(verts, facecolor='#1A825280', edgecolor='#1A825280')
ax.add_patch(poly)

```

```

plt.plot(absc, min_curv, '#1A8252')
plt.plot(absc, max_curv, '#1A8252')

plt.plot([0,1], [0,0], "k")
plt.plot(marker_x, marker_y, "k.")
#plt.plot(absc, neutral_curv, "b", label="position neutre")
plt.plot(absc, knee_curv, "r", label="Frame " + str(f))

plt.ylabel('K')
plt.xlim(left=0,right=0.6)
plt.ylim(bottom=-20,top=25)
plt.title('spine curvature (knee kick)')
plt.legend()

filename = str(framecount) + ".png"
if framecount < 100:
    filename = "0" + filename
if framecount < 10:
    filename = "0" + filename

print(filename)
fig.savefig("video/kneekick/" + filename, dpi=300)

plt.clf()
framecount += 1
"""

lowerspines_file.close()
upperspines_file.close()

#####
#
# Quantitative analysis of spine local deformation
#
# Hassen Hakim, Olivier Nocent (c) 2019-2020
#
# Contact:
#   hakimhassen@yahoo.fr
#   olivier.nocent@univ-reims.fr
#
#####
#
# reference_elongation.py
#
# 1. Compute curve length between ORI and L1 (neutral and flexion)
# 2. Compute curve length between L1 and T5 (neutral and flexion)
#
#####

# -*- coding: utf-8 -*-
import sys
from math import *
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.patches import Polygon
import numpy as np
import spine as sp

#####
#
# Maximal flexion data: load & process
#
#####
g_data = sp.load_marker_data("../data/Flexion avant excel.csv")
l_data = sp.transform_to_local(g_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])

l_flexion_frame = sp.extract_frame(

```

```

l_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6",
"VX"], 372)

absc = list(l_flexion_frame["z"].values())
ordn = list(l_flexion_frame["y"].values())
c_flexion = np.polyfit(absc, ordn, 5)

flexion_length = sp.curve_length(c_flexion, 0, l_flexion_frame["z"]["L3"], 0.001)
print("ORI -> L5: ", flexion_length)

flexion_length = sp.curve_length(c_flexion, l_flexion_frame["z"]["T8"],
l_flexion_frame["z"]["T7"], 0.001)
print("T8 -> T7: ", flexion_length)

#####
#
# Neutral position data: load & process
#
#####
g_data = sp.load_marker_data("../data/position neutre_excel.csv")
l_data = sp.transform_to_local(g_data, ["EIPD", "EIPG", "EIAD"])

l_neutral_frame = sp.extract_mean_frame(
    l_data, ["ORI", "L5", "L3", "L1", "T8", "T7", "T6", "T5", "T3", "T1", "C6",
"VX"])

absc = list(l_neutral_frame["y"].values())
ordn = list(l_neutral_frame["z"].values())
c_neutral = np.polyfit(absc, ordn, 5)

neutral_length = sp.curve_length(c_neutral, 0, l_neutral_frame["y"]["L3"], 0.001)
print("ORI -> L5: ", neutral_length)

neutral_length = sp.curve_length(c_neutral, l_neutral_frame["y"]["T8"],
l_neutral_frame["y"]["T7"], 0.001)
print("T8 -> T7: ", neutral_length)

```

Optimisation Biomécanique et Neuromusculaire de la Performance et Prévention de la Santé des Artistes du Cirque

Objectif : Afin de préserver la santé des étudiant-artiste de cirque, nous nous sommes fixés comme objectifs dans cette étude : premièrement, d'établir une caractérisation anthropométrique des étudiant-artistes nous permettant de les classer parmi les différentes activités et disciplines sportives et de savoir s'ils présentent des adaptations morphologiques spécifiques dues à leurs pratiques. Deuxièmement, d'étudier les causes probables des blessures chez les étudiant-artistes du cirque. Pour cela, nous avons corrélé la qualité de l'échauffement général, le taux de blessures et les niveaux de sévérité. Troisièmement, d'investiguer les blessures chez les étudiant-artistes en fonction de leur approche psychologique vis-à-vis des activités physiques circassiennes et de leurs temps d'engagement effectif sur leurs appareils de prédilection. Quatrièmement, de développer un modèle biomécanique par éléments finis nous permettant l'identification d'éventuels risques de blessures dus aux contraintes de mouvements exécutés dans des amplitudes articulaires maximales. **Résultats et Conclusion :** Les circassiens ont montré une adaptation anthropométrique en fonction de leurs types d'activités. En général, et toutes activités confondues, les étudiant-artistes sont plus petits que la moyenne du commun des mortels. Cela pourrait être une caractéristique anthropométrique pour répondre aux exigences fonctionnelles spécifiques du type des activités circassiennes. Les taux et les degrés de sévérités des blessures semblent avoir une relation avec la façon dont les étudiant-artistes pratiquent leurs échauffements juste avant leurs séances de spécialités ; sachant que toutes les blessures ont été enregistrées au cours de ces séances. Nous avons constaté aussi, que ceux qui ne se considéraient pas comme sportifs, avaient le temps d'engagement effectif le plus bas et le taux de blessures le plus élevé.

Mots-clés : caractérisation anthropométrique, étudiant-artiste du cirque, aérien, non-aérien, blessure, échauffement général, temps d'engagement effectif, approche psychologique vis-à-vis de l'activité.

Biomechanical and Neuromuscular Performance Optimization and Health Prevention of Circus Artists

Objective: In order to prevent the health of student circus artists we set ourselves the objectives in this study: firstly, to establish a circus student-artist anthropometric characterization allowing for their classification among the different activities or sports discipline and to know if they present specific morphological adaptations due to their practices. Secondly, to investigate probable causes of injury occurrence among circus student-artists as well as develop the most appropriate injury prevention and performance optimization programs to preserve their health. We correlated the general warm-up quality, the injury rates, and levels of severity. Thirdly to inquire the injuries among student-artists according to their psychological approaches to the circassian physical activities and to their effective engagement times on their predilection apparatus. And fourth, to develop a biomechanical model by finite elements allowing us to identify possible risks of injuries due to the constraints of movements executed in maximum articular amplitudes. **Results and Conclusion:** The circassians showed an anthropometric adaptation according to their activity types but in general, and all activities combined, they remain smaller than the average man. This could be an anthropometric feature to meet the specific functional requirements of this activities type. The injury occurrence rates and severities seem to have a relation with the way of student-artists practice their warm-ups just before their specialty sessions; taking into account the fact that all injuries were recorded during these sessions. We found that those who did not consider themselves as sporty had the lowest effective engagement time and highest injury rate.

Key words: anthropometric characterization, circus student-artists, aerial, non-aerial, injury, general warm-up, effective engagement time, psychological approach.

Discipline : STAPS

Spécialité : Biomécanique et physiologie du mouvement

Université de Reims Champagne-Ardenne

PSMS - EA 7507