



Analyse biomécanique des membres inférieurs chez l'artiste de cirque pour l'activité du cadre aérien.

Guillaume Agnesina, Nabil Talbi, Redha Taïar, M'Hamed Mostefaoui, Alexandre del Perugia

► To cite this version:

Guillaume Agnesina, Nabil Talbi, Redha Taïar, M'Hamed Mostefaoui, Alexandre del Perugia. Analyse biomécanique des membres inférieurs chez l'artiste de cirque pour l'activité du cadre aérien.. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03360486

HAL Id: hal-03360486

<https://hal.science/hal-03360486>

Submitted on 30 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse biomécanique chez l'artiste de cirque pour l'activité du cadre aérien.

Guillaume Agnesina¹, Nabil Talbi^{1,2}, Redha Taïar¹, M'hamed Mostefaoui³, Alexandre Del Perugia³

¹ Laboratoire d'Analyse des Contraintes Mécaniques, EA3304 LRC CEA, Université de Reims CA
guillaume.agnesina@univ-reims.fr

² Groupe Mécanique Matériaux Structure, EA2617, Université de Reims CA

³ Centre National des Arts du Cirque, Châlons en Champagne

Résumé :

Les activités de cirque notamment pour des spécialités aériennes (cadre aérien...) peuvent occasionner des pathologies du genou ayant des répercussions sur la carrière de ces élèves.

L'activité acrobatique du cadre aérien a été étudiée avec la collaboration du Centre National des Arts du Cirque, dans le but d'améliorer le compromis confort / gestuelle du porteur (limiter les blessures, améliorer la géométrie de l'agrès...). Cette étude commence par l'analyse d'un mouvement en fonction de différents cadres dans le but de définir les forces de réactions au niveau des genoux du porteur en fonction de position spécifique sur le cadre aérien.

Une pré-étude avec le logiciel MSC Adams – BRG LifeMOD nous permettra de définir les forces de réaction articulaires afin de comprendre et d'optimiser la gestuelle du porteur pour limiter les pathologies du porteur.

Abstract :

The activities of circus in particular for air specialities can cause pathologies of the knee having effects on the career of these students

The activity of the air structure was studied with the collaboration of the National Center of Arts of the Circus, with the aim of improving the compromise comfort / motion of the carrier (to limit the wounds, to improve the geometry of the equipment...). This study starts with the analysis of a movement according to various structures in the aim of defining the reaction behind the knees of the carrier according to specific position on the air structure.

A pilot study with the software MSC Adams – BRG LifeMOD will enable us to define the reaction forces in order to understand and to optimize the movement and to limit pathologies of the carrier

Mots-clefs :

Genou, simulation, LifeMod

1 Introduction

Les exploits des circassiens à travers les activités, de fil suspendu ou de cadre aérien ne sont jamais remis en question. D'après Benoit Bardy et Brice Isableu (2003), malgré cette admiration du grand public et de la complexité de ces activités, il ne se dégage pas réellement de travaux scientifiques à travers ces activités, en biomécanique par exemple. La raison est, sans doute, liée à la difficulté de mettre en œuvre des études expérimentales connaissant la complexité du mouvement artistique des activités circassiennes. Quelques travaux ont pourtant été menés comme notamment ceux de Peter Beek et al. (1992), Raoul Huys et al. (2004) sur la dynamique du jonglage mais rien sur les activités aériennes et acrobatiques.

En gymnastique, plusieurs travaux ont été menés sur le lâcher en barre fixe comme notamment celle de Hiley et Yeadon. (2005). Cette étude montrait l'angle idéal que devait

réaliser le gymnaste dans le but d'effectuer un triple saut pour sa sortie. Holvoet et al. en 2002, étudiaient l'évolution des efforts articulaires développés pendant des élans circulaires en barre fixe. D'autres études sont accés sur les activités gymniques mais encore une fois très peu sur le cirque et les activités artistiques plus généralement.

Pourtant, les pathologies du genou sont fréquentes chez l'artiste de cirque notamment pour des spécialités de sauts ou de travail en force (cadre aérien, trapèze en ballant...) ce qui occasionnant des répercussions sur la carrière des artistes.

L'évaluation du mouvement artistique sur le cadre aérien dans le but d'améliorer le compromis confort / gestuelle (limiter les blessures, améliorer la géométrie de l'agrès...) a pour objectif :

- + Analyser le mouvement en fonction des différents cadres.
- + Définir les forces articulaires et les muscles les plus utilisés des membres inférieurs du porteur en fonction du mouvement et d'une position spécifique sur le cadre aérien.
- + Trouver selon les résultats et en relation avec les artistes une position préférentielle sur le cadre aérien
- + Valider les résultats de modélisation et de simulation du mouvement (notamment avec des capteurs de forces).

Dans cette étude, nous avons commencé à analyser le mouvement de balancier de la porteuse et la modélisation grace au logiciel de simulation MSC Adams- BRG LifeMOD. Des mesures de forces de réactions verticales en fonction du mouvement ont également été effectuées. Cette étude permet donc d'introduire les premiers résultats obtenus.

2 Sujets et Méthodes

Deux acrobates ont participé à l'étude. Elles s'entraînent 4 heures par jours, six à sept fois par semaine depuis plus de 4 ans. Les sujets, une porteuse (1,78 m, 65 kg) et une voltigeuse (1,59m, 48 kg) ont réalisés un mouvement « dynamique » (balancier) pour le porteur avec acrobatie pour le voltigeur répété 3 fois. (Fig.1)



Fig. 1 Photos expliquant le mouvement de balancier de la porteuse et du saut acrobatique (« le bourdon ») de la voltigeuse.

Vingt quatre et vingt marqueurs passifs (14 mm de diamètre) ont été placés respectivement sur la porteuse et la voltigeuse sont positionnés sur des endroits anatomiques spécifiques dans le

but de faciliter la reconstruction 3D. Un système optoélectronique composé de 6 caméras Vicon MX3 permettait d'enregistrer la position tridimensionnelle de chaque marqueur en fonction du temps à une fréquence d'échantillonnage de 200 Hz. Une caméra vidéo numérique tri CCD (fréquence d'image : 25 Hz) synchronisée avec le système Vicon a également filmé les essais.

Les caméras Vicon étaient réparties uniformément autour d'une piste de cirque de 13 m de diamètre. Trois cadres aériens ont été testés. Chaque cadre était placé au centre de cette piste à une hauteur de 4,50 m du sol. Les cadres étaient identiques dans la structure globale sauf pour les barres principale horizontale où s'appuyaient les genoux et les chevilles. (Fig. 2)

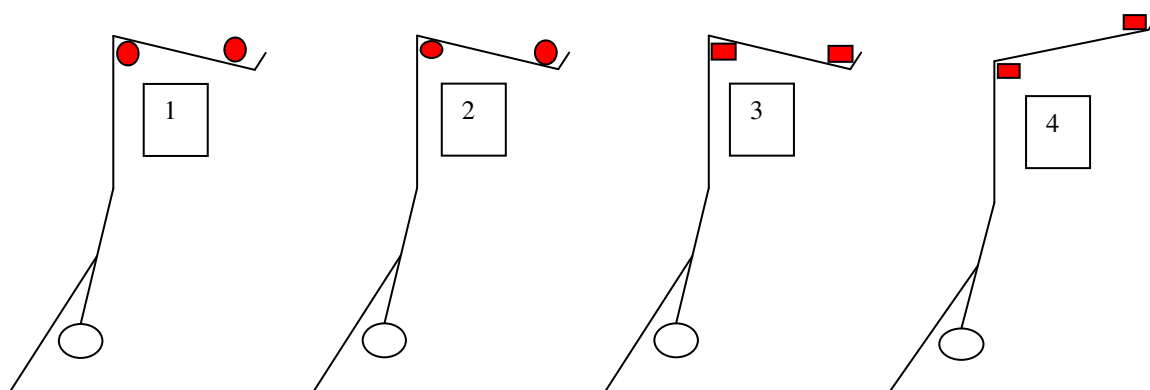


Fig 2. Différentes positions données au porteur

- Cadre avec barre principale des genoux RONDE (diamètre : 33,7 mm)
- 2) Cadre avec barre principale des genoux OBLONDE (dim : 45*35 mm)
- 3) Cadre avec barre principale de genoux RECTANGULAIRE (dim : 50*25 mm)
- 4) Cadre avec barre principale des genoux RECTANGULAIRE (angle ouvert des genoux) (dim : 50*25 mm)

Entre les cadres aériens 1 et 2 seul la barre passant sous les genoux étaient différentes. Le cadre 3 permettait un réglage d'angle d'ouverture des genoux permettant un réglage comme dans la configuration 4.

Sachant que pour les acrobates, un mouvement est considéré comme réussi lorsque la porteuse « projette » le plus haut possible sa partenaire (voltigeuse). Nous avons décidé d'étudier les positions verticales et longitudinales des marqueurs. Nous vous présenterons ici, les marqueurs associés aux épines iliaques antéro supérieures gauche et droite de la porteuse (LASI et RASI) et aux mains (placés sous la tête du 2ème métacarpien) des deux acrobates (LFIN et RFIN).

Une attention particulière a été faite concernant la différenciation numérique et la méthode de filtrage entre les données brutes et filtrées. Nous avons utilisé un filtre de type Butterworth qui est couramment utilisé dans les analyses cinématiques du mouvement humain (Winter, 1990). 90% de la densité de puissance spectrale du centre de masse est entre 0 et 6 Hz. Ainsi, pour réduire le bruit, les données ont été filtrées à travers un filtre passe bas d'ordre quatre avec une fréquence de coupure de 6 Hz. (Gustafsson, 1996, Mitra, 2001).

3 Résultats et Discussion

Nous avons fait une première analyse cinématique des hauteurs des mains et des iliaques antéro postérieures de la porteuse (tableau 1). Un calcul d'écart entre les valeurs maximales et

minimales verticales a été réalisé. Le cadre avec barre ovale semble permettre d'atteindre des hauteurs importantes (3^{ème} mouvement).

Il semble que le cadre avec barre ovale permet d'atteindre des hauteurs importantes pour les iliaques.

Hauteurs maximales des mains de de la Porteuse (en mm)								
	Barre ronde		Barre ovale		Cadre prototype 1er réglage		Cadre prototype 2e réglage	
	RFIN	LFIN	RFIN	LFIN	RFIN	LFIN	RFIN	LFIN
1 ^{er} mouvement	345.8	335.3	299.2	281.2	339.7	339.1	299.7	245.6
2 ^e mouvement	391.5	336.8	392.2	366.2	359.3	350.3	218.4	245.4
3 ^e mouvement	402.3	402.8	431.3	428.9	382.5	404.0		
Ecart entre Max- Min	56.5	67.5	132.1	147.8	42.8	64.9		

Hauteurs maximales des iliaques antéro supérieurs de la Porteuse (en mm)								
	Barre ronde		Barre ovale		Cadre prototype 1er réglage		Cadre prototype 2e réglage	
	RASI	LASI	RASI	LASI	RASI	LASI	RASI	LASI
1 ^{er} mouvement	160.0	141.5	202.7	181.1	154.1	139.5	45.7	27.8
2 ^e mouvement	167.2	142.5	197.0	177.6	156.3	142.9	21.5	21.0
3 ^e mouvement	156.1	134.5	196.4	176.9	181.7	167.2		
Ecart entre Max- Min	11.2	8.0	6.3	4.2	27.6	27.8		

Tableau 1 Hauteurs des mains et des iliaques antéro postérieurs de la porteuse (en mm)

Le cadre avec barre principale rectangulaire (angle ouvert du genou) n'est pas du tout adapté au mouvement. Sur ce cadre, le 3^{ème} mouvement de balancier n'a pu être réalisé à cause de douleurs derrière le genou. Cette configuration est donc abandonnée dans la suite de l'étude.

La création d'un modèle biomécanique sous MSC Adams – BRG LifeMod se déroule selon les étapes suivantes :

Génération des segments du modèle en partant des données anthropométriques du sujet étudié > Génération des articulations > Importation de la cinématique 3D > Génération des muscles, tendons et ligaments (selon le degré de précision de l'étude) > Importation d'équipement sous forme de géométrie 3D (dans notre cas, le cadre aérien dessiné avec le logiciel SolidWorks 2004) > Positionnement du modèle > Calcul en dynamique > Résultats sous forme de courbes.

Après une analyse intégrant un mouvement de balancier simple, nous obtenons les résultats préliminaires suivants (fig 3) :

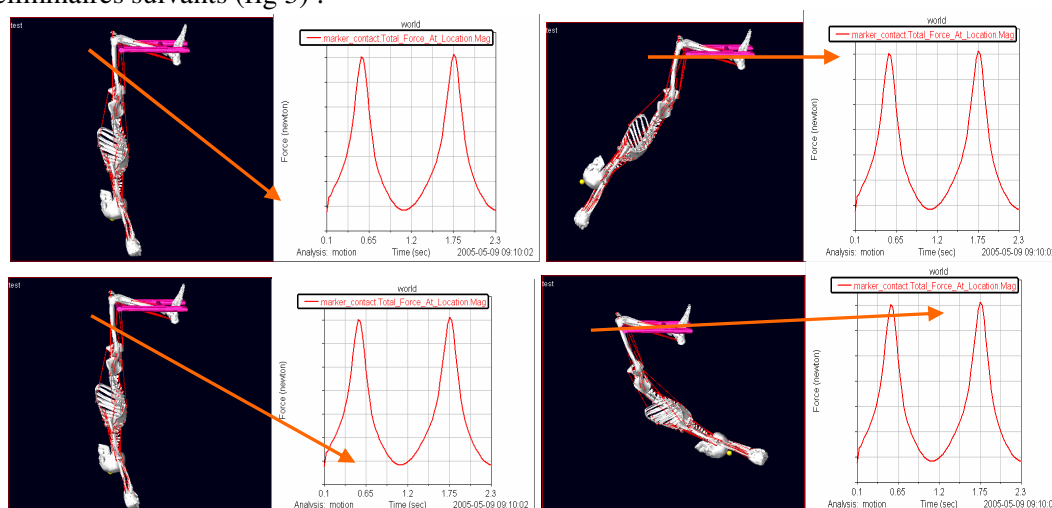


Fig 3. Exemple de résultats obtenus au cours d'un cycle du mouvement de balancier
Sur un cycle complet :

- Position verticale initiale : Force de réaction sur la barre correspondant au poids du porteur (Force minimale).
- Position maximale en extension : Force de réaction maximale
- Position verticale intermédiaire : Force de réaction sur la barre correspondant au poids du porteur (Force minimale)
- Position maximale en flexion : Force de réaction maximale

Nous avons intégré uniquement ici le porteur. La voltigeuse peut avoir sur action directe sur cette allure de force. En effet, lors du lâché et de la récupération de la voltigeuse par la porteuse, il existe sûrement des pics de forces ainsi qu'un décalage dans temps.

4 Conclusions

L'étude cinématique de la porteuse et de la voltigeuse, nous donne déjà de bonnes indications de la gestuelle en fonction d'un cadre particulier.

La partie simulation via les nouveaux logiciels MSC Adams – BRG LifeMod permet les calculs de modèles biomécaniques humains sophistiqués.

L'étude des contractions musculaires des membres inférieurs, de la tension dans les ligaments et des forces de contact avec l'environnement sont les intérêts majeurs de ces logiciels.

Une partie expérimentation (validation) a déjà commencé notamment grâce à des capteurs de force en traction (DYNAFOR LLX 1250 kg) qui permettent de connaître la force verticale (F_z en N) d'appui des genoux sur la barre principale en fonction du temps. Cette force obtenue tient compte du mouvement de la porteuse mais aussi celui de la voltigeuse.

Il sera donc intéressant de comparer la partie simulation et la partie mesure de force pour connaître l'impact du mouvement de la voltigeuse sur les genoux de la porteuse.

Références

Agrès de cirque, Conception & fabrication, Hors les murs, Nov 2003

Bardy B. et Isableu B. (2003), Contrôle de la distribution des masses modélisation et perspectives au cirque, *Medecine du cirque : vingt siècles après Galien* (ed. L'Entretemps et le Centre national des arts du cirque) p29.

BRG LifeMod 2005 Manual, Biomechanics Research Group INC

Beek P. J. and Turvey M. T. (1992), Temporal Patterning in Cascade Juggling, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, Volume 18, Issue 4.

Hiley MJ, Yeadon MR (2005) Maximal dismounts from high bar, *Journal of Biomechanics* 38 : 2221–2227

Holvoet P. (2002) Détermination des efforts articulaires exercés au cours de trois types d'élan en barre fixe, *Science & Sports*. 17 : 26-30

Huys R, Daffertshofer A and Beek P J. (2004), Multiple time scales and subsystem embedding in the learning of juggling, *Human Movement Science*, Volume 2