

Etude des contraintes dynamiques et l'interaction homme-cadre aérien chez les artistes du cirque.

N. ¹Talbi, G. ¹Agnesina, R. ¹Tañar, A. D. ²Perugia

¹Université de Reims Champagne-Ardenne

²Centre National des Arts du Cirque, Châlons-en-Champagne

Résumé:

Le but de cette étude est d'analyser le comportement dynamique d'un cadre aérien sujet à des sollicitations induites par les voltigeuses. L'étude est divisée en deux parties : expérimentale et numérique.

Le calcul par éléments finis permet, entre autres, la simulation très précise et réaliste du comportement mécanique (déplacements, contraintes, déformations...) de structures complexes sans avoir à réaliser de prototype physique. Ainsi, en phase de conception, on peut tirer très avantageusement profit de ce calcul pour dimensionner, valider ou optimiser les différents composants ou assemblages.

Abstract:

The objective of this work is to analyse dynamic behaviour under accelerations during athletes' performance. The study is divided into two parts: experimental and numerical.

Calculation by finite elements permits, the very precise and realistic simulation of the mechanical behaviour (displacements, constraints, deformations...) of complex structures without physical prototype. Thus, in the design phase, we can very advantageously benefit from finite elements calculation in the aim to validate and optimize complete components or assemblies.

Mots-clefs:

Ergonomie, dimensionnement, dynamique, éléments finis.

1 Introduction

D'un point de vue mécanique, l'homme est un système articulé et déformable. En tant que tel, il est soumis à l'ensemble des sollicitations de son environnement qui peuvent engendrer des troubles musculaires et squelettiques. Les lois de la statique et de la dynamique lui sont donc applicables. Dans le cadre de l'étude portant sur les circassiens (CNAC de Châlons-en-Champagne), nous avons dimensionné un cadre aérien et adopté des solutions en vue d'une optimisation ergonomique et mécanique.

Le but de cette étude est d'analyser le comportement dynamique d'un cadre aérien sujet à des sollicitations induites par les voltigeuses lors du mouvement. Une étude expérimentale et numérique est effectuée sur un cadre existant, fabriqué in situ par les techniciens du CNAC. Après une analyse fine de la gestuelle (utilisation de six caméras optoélectroniques, 200 Hz), nous avons modifié la barre de section ronde (passant sous le genou) par une autre de section ovale. Cette dernière, offre une plus grande surface de contact avec le genou ce qui suppose une meilleure répartition des efforts et une amélioration du confort de l'athlète.

Pour ce faire, nous avons soumis différents cadres aériens (formes et sections différentes), à des accélérations en différents points. Cette configuration simule le mouvement des deux voltigeuses en plein exercice (balancement ou réception), afin de quantifier les contraintes dynamiques que cela peut engendrer. A partir des résultats, nous établirons une solution optimale qui sera en réalité un compromis entre résistance et légèreté d'une part et confort et ergonomie d'autre part.

2 Banc d'essai

Pour les besoins de la simulation nous avons équipé les deux voltigeuses par des marqueurs positionnés sur des repères anatomiques (Coudes, genoux, chevilles, hanches, etc.). Les sujets, une porteuse (1,78 m, 65 kg) et une voltigeuse (1,59m, 48 kg) ont effectués, sur un cadre construit in situ (figure 1), un mouvement de balancier pour la porteuse et une acrobatie pour la voltigeuse.

Le cadre est placé au centre de la piste à une hauteur de 4.50 m et tendu, vers le sol, par des câbles en aciers tendus à 1500 N.

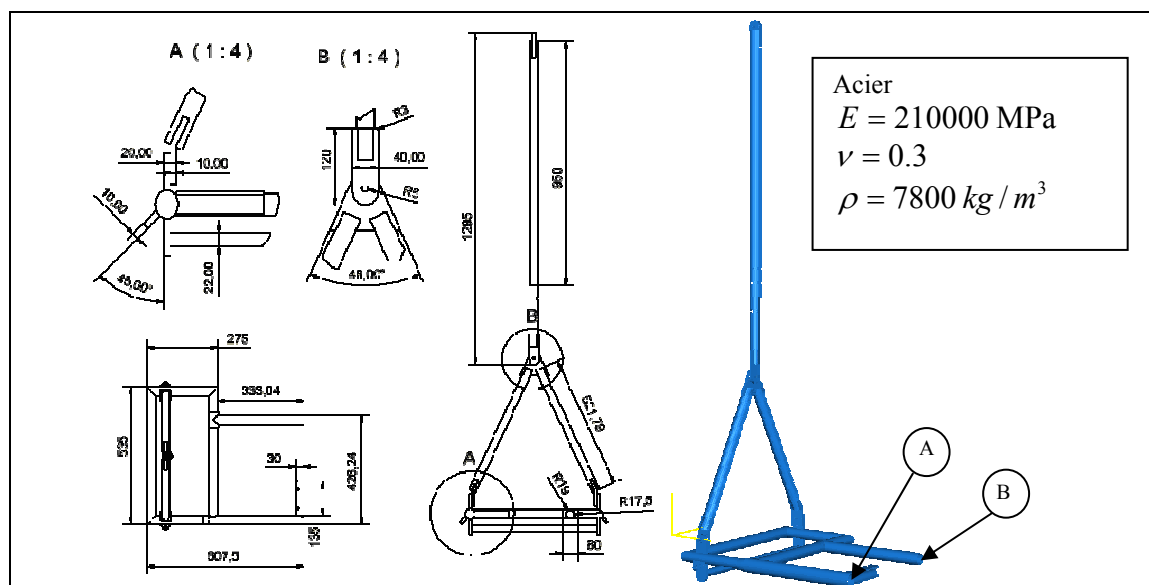


Figure 1 : Géométrie du cadre aérien

Six caméras, de type Vicon MX3 disposés autour de la piste de 13 m de diamètre, enregistrent la position dans l'espace 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) synchronisé avec le système Vicon filme l'essai. Un traitement postérieur nous permet d'extraire les accélérations au niveau du genou et de la cheville de la porteuse suivant les trois directions de l'espace (figure 1). On supposera que ces accélérations sont celles du point A (genou) et B (cheville) voir figure 2 et 3. Les calculs des efforts au niveau des ces articulations, a été effectuée en utilisant le modèle anatomique de Winter (1990). En effet pour la cheville nous avons pris en considération la masse du pied et de la jambe de la porteuse et pour le genou, le reste du corps de la porteuse et la voltigeuse.

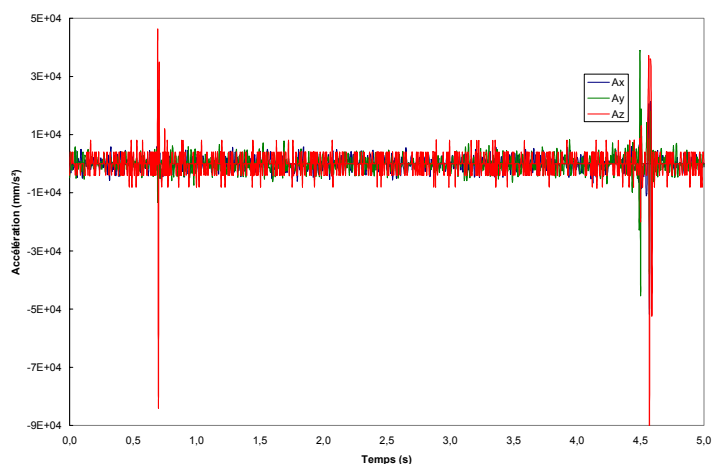


Figure 2 – Accélérations au niveau de la cheville (XYZ)

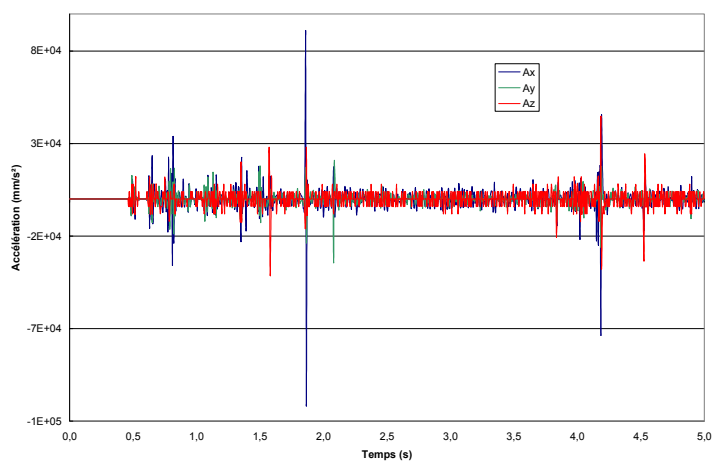


Figure 3 – Accélérations au niveau du genou

Segment	Définition		Centre de masse/longueur segment		m.segm. / m.corp
	Proximale	Distale	Proximale	Distale	
Main	Appendice styloïde	2 nd e phal. Majeur	0,506	0,494	0,006
Avant-bras	Olécrane	Appendice styloïde	0,43	0,57	0,016
Bras	Gléno-humérale	Olécrane	0,436	0,564	0,028
Pied	Malléole externe	2 nd Méta du V	0,5	0,5	0,0145
Jambe	Condyle fémoral	Malléole externe	0,433	0,567	0,0465
Cuisse	Grand trochanter	Condyle fémoral	0,433	0,567	0,1
Tête-Tronc	Gléno-humérale	Grand trochanter	0,626	0,374	0,578

Tableau 1 – Répartition des masses des segments du corps humain selon le modèle anatomique de Winter (1990)

3 Simulation numérique

Assez souvent, le cirque, développe ses propres agrès pour le renouvellement des différents numéros. La principale préoccupation est d'assurer la vie des artistes. Ce qui a pour conséquence de surdimensionner le plus souvent les agrès.

Compte tenu de la nature symétrique de la géométrie et du chargement, seule la moitié du cadre est maillé par 45 415 éléments finis tétraèdres (C3D4), à 4 nœuds et 3ddl par nœud, et 14603 nœuds. La géométrie a été conçue sur Pro/Engineer et les calculs sur ABAQUS version 6.5-1. Nous avons choisi d'utiliser l'analyse modale avec extraction au préalable des 30 premiers modes propres.

Les résultats expérimentaux sont comparés aux résultats numériques au centre du cadre (point A). Le déplacement vertical maximal, de ce point, oscille autour de la position initiale de 32,5 mm (figure 4). Ce qui est en bon accord avec les valeurs expérimentales (+20 mm et -27.4 mm), La contrainte de Mises atteint son maximum de 800 MPA à $t = 4.85$ s, ce qui correspond au moment où la voltigeuse fait son premier appel pour quitter le cadre et exécuter sa voltige (figure 6).

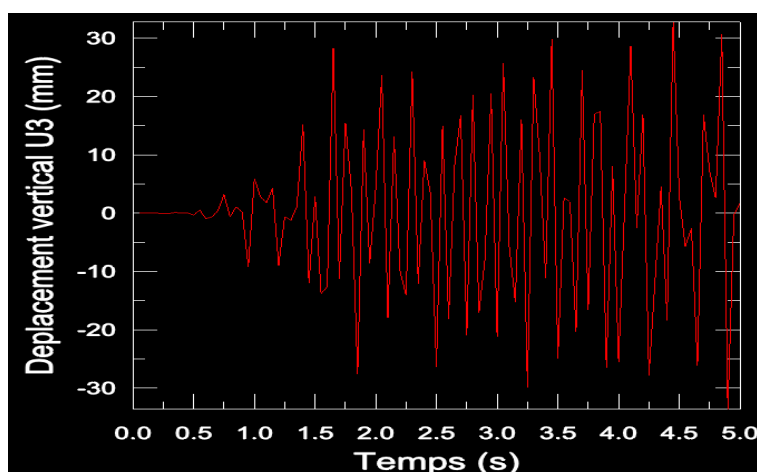


Figure 4 – Evolution du déplacement vertical.

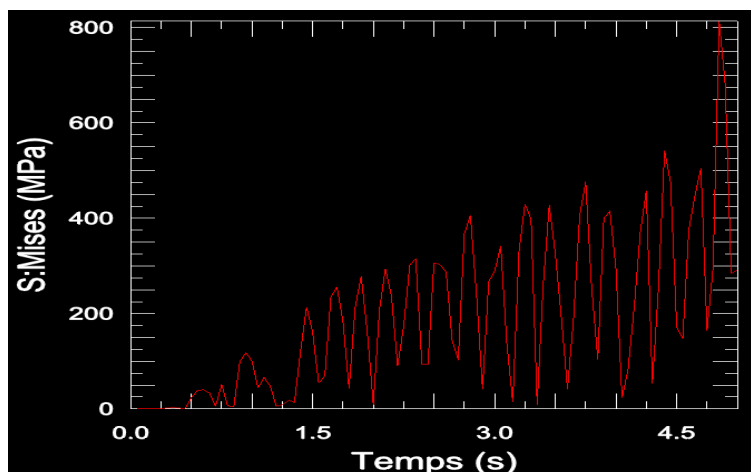


Figure 5 – Evolution de la contrainte de Mises.

On remarque que la contrainte de Mises atteint des valeurs, dans certaines régions, qui dépassent largement la limite élastique de l'acier. Un redimensionnement s'impose pour assurer la résistance du trapèze et surtout la sécurité des voltigeuses (figure 7).

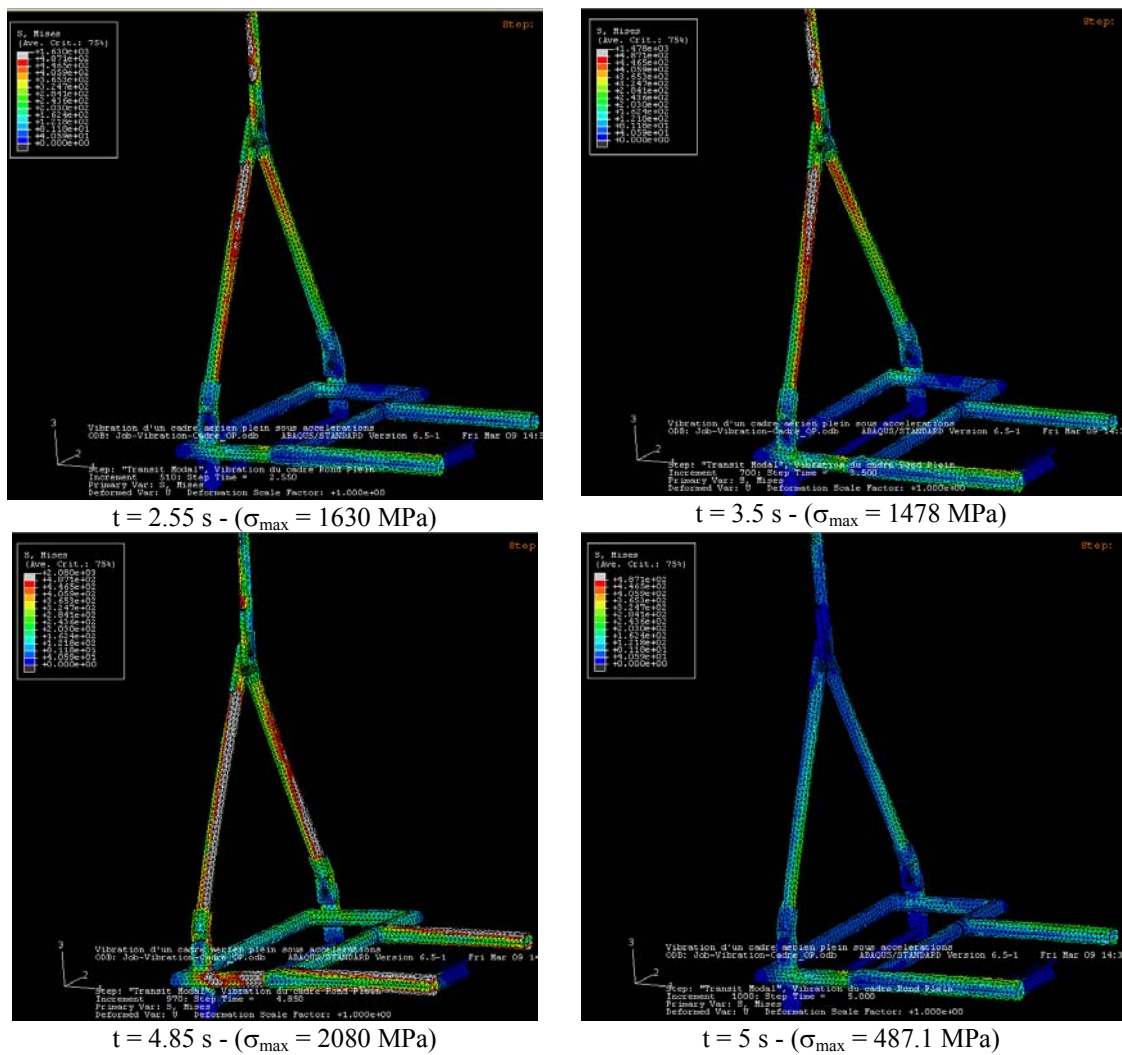


Figure 7 – Evolution de la contrainte de Mises en fonction temps.

4 Conclusion

L'étude a montré, qu'avec un modèle simplifié en chargement et une répartition théorique des masses des athlètes, on obtient des résultats forts encourageants malgré les hypothèses posées. En effet, le chargement n'est pas exactement symétrique par rapport au plan YZ du fait de la non symétrie du mouvement exécuté.

Une prochaine étape consisterait à intégrer le modèle numérique des deux athlètes et leurs évolutions spatio-temporelles.

5 Références

Agrens 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, Médecine du cirque : vingt siècles après Galien (éd. L'Entretemps et le Centre national des arts du cirque) p29.

Winter D.A. (1990). Biomechanics and motor control of human movement. A. Wiley Interscience Publication. Second Edition