

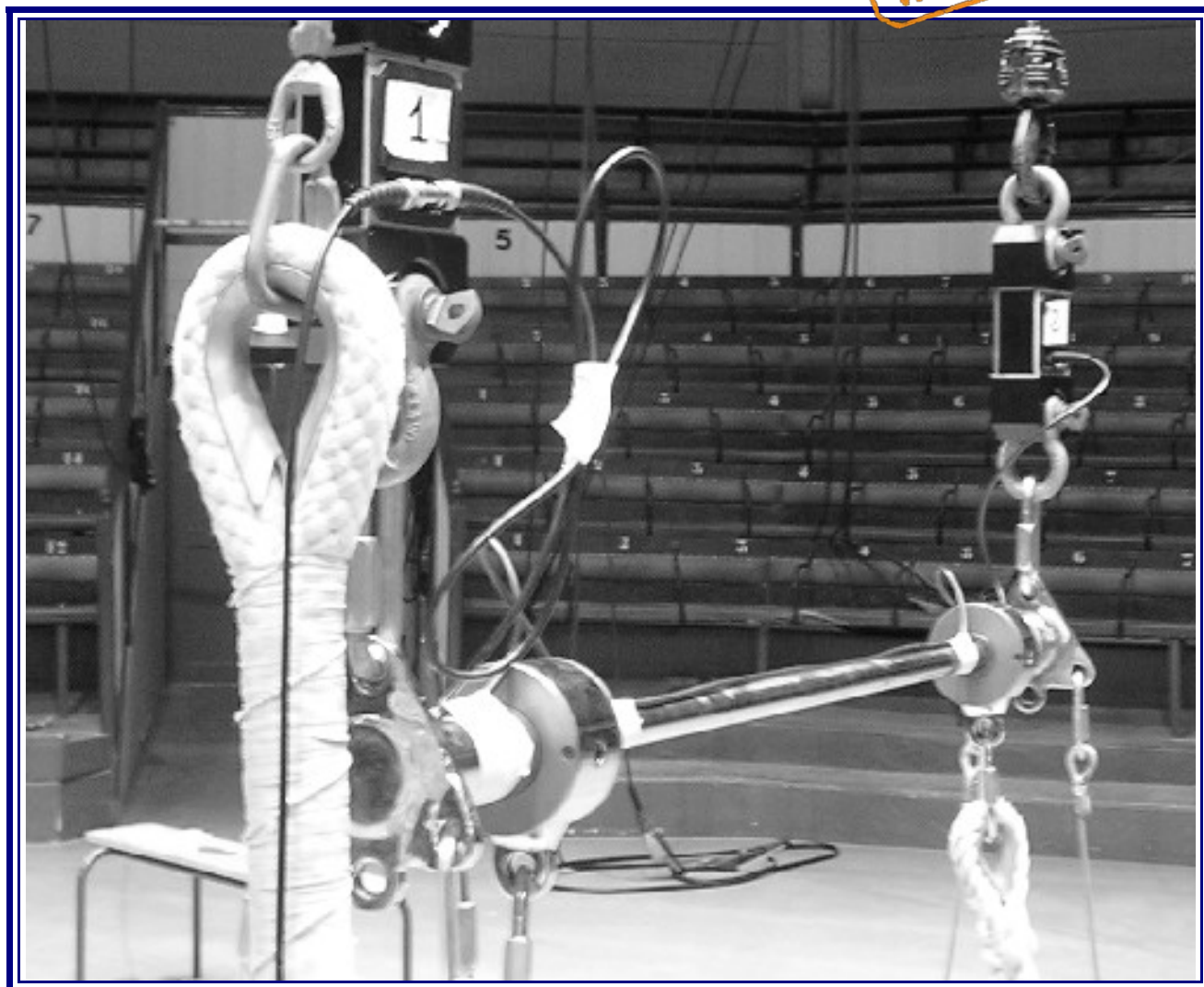
MESURES DYNAMIQUES DES AGRÈS DE CIRQUE

TRAPÈZE VOLANT & FILET

ENACR – Ferme du Buisson Noisiel France

5 octobre 2002

Téléchargé sur
www.AERISC.com



MESURES DES EFFORTS INDUITS PAR LE TRAPÈZE VOLANT SUR SES ACCROCHES

&

MESURES DES EFFORTS INDUITS PAR LE FILET SUR SES ACCROCHES



Toute reproduction, communication à des tiers, représentation, vente, distribution, diffusion, publication, adaptation ou modification, intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages, textes et images publiés dans les documents et supports pédagogiques émis par l'association AERISC, réalisée sans l'autorisation écrite explicite d'AERISC ou du détenteur du droit d'auteur est illicite et constitue une contrefaçon.

Seuls sont autorisés :

- les usages et tirages papier strictement réservés à l'usage privé du visiteur du présent site et non destinés à une quelconque utilisation collective, présentation ou diffusion, notamment dans le cadre de formations, qu'ils soient réalisés à titre commercial ou à titre gratuit,
- les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées.

Toute demande de reproduction ou d'utilisation particulière est traitée par les services d'AERISC au cas par cas et ne peut faire l'objet d'une autorisation automatique.

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Table des matières..... | 3 |
| I. Préambule..... | 4 |
| II. Introduction..... | 4 |
| III. Objectifs et Hypothèses..... | 4 |
| IV. Conditions..... | 5 |
| IV.1. Environnement..... | 5 |
| IV.2. Participants..... | 5 |
| IV.3. Banc d'essais..... | 5 |
| IV.4. Matériels de mesures..... | 6 |
| V. Protocoles..... | 6 |
| V.1. Filet..... | 6 |
| V.2. Trapèze..... | 7 |
| VI. Résultats..... | 8 |
| VI.1. Filet..... | 8 |
| VI.2. Trapèze..... | 10 |
| VII. Conclusions..... | 12 |
| VII.1. FILET..... | 12 |
| VII.2. AGRÈS BALLANTS..... | 12 |
| VII.3. CONCEPTION DES STRUCTURES ET DES ANCRAGES..... | 14 |

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

I. Préambule

Le présent document est une remise en page d'un rapport BUREAU VERITAS n°CB224/02.1120/TL/CAu rédigé par Thomas LORIAUX pour le compte de l'association HORS-LES-MURS.

L'original de ce rapport technique est disponible auprès du centre de ressources Hors-les-Murs.
www.horslesmurs.fr

II. Introduction

Dans le cadre de la rédaction des règles de l'art concernant la conception et la fabrication des agrès de cirque, un groupe de travail piloté par l'association Hors Les Murs a pu établir un document technique de base qui traite notamment des coefficients d'utilisation des différents agrès aériens.

Cette initiative, qui est une première à l'échelle nationale et européenne, a pour principal objectif de concilier les impératifs de sécurité des artistes et du public avec la préservation des capacités d'innovation propres aux activités de créations d'agrès, de numéros et de spectacles.

Les résultats de ces études techniques ont fait l'objet d'une première enquête auprès de 200 professionnels au mois de juin 2001. Suite à cette enquête, un comité de rédaction a été sollicité afin de finaliser la version publiable de ces travaux.

Parallèlement, Hors Les Murs et ses partenaires (Ministère de la culture DMDTS, CRAMIF, INRS) ont sollicité les spécialistes « spectacles et événements » de Bureau Veritas afin de réaliser une série de tests physiques destinée à valider les hypothèses théoriques retenues par le groupe de travail.

Cette validation porte essentiellement sur la dynamique des efforts appliqués sur les agrès et leurs dispositifs de sécurité.

III. Objectifs et Hypothèses

Les mesures effectuées lors de cette séance de tests concernent exclusivement les agrès aériens. 3 types d'efforts ont été analysés sur un équipement de trapèze volant.

- Efforts appliqués aux points d'ancrage longitudinaux d'un filet de réception.
- Efforts appliqués aux points d'ancrage latéraux d'un filet de réception.
- Efforts appliqués aux points d'ancrage du trapèze.

Les mesures concernant le filet de réception sont destinées à indiquer un ordre de grandeur aux concepteurs de filets et d'ancrages.

Les nombreuses mesures effectuées sur les ancrages du trapèze sont destinées à valider l'hypothèse formulée par le groupe de travail concernant le coefficient dynamique à prendre en compte pour les agrès ballants : 2g.

Ces mesures, effectuées sur un agrès très rigide (câbles en acier), doivent être considérées comme des valeurs extrêmes car les facteurs d'absorption (favorables à la diminution des efforts de crête) y sont très limités.

Ces mesures peuvent être considérées comme des valeurs significatives qui pourront être extrapolées à d'autres agrès. L'extrapolation est fondée sur les hypothèses suivantes :

- La dynamique liée à l'utilisation des agrès ballants est due à 2 composantes : La première est fonction de la force centrifuge appliquée à toute masse pendulaire (coefficient de dynamique centrifuge), la seconde est due aux mouvements du trapéziste (coefficient de dynamique corporelle). Les efforts mesurés correspondent à la somme de ces deux composantes.

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

- La composante centrifuge de l'effort dynamique peut être correctement estimée par calcul. Elle dépend de la masse du trapéziste, de l'excentrement de son centre de gravité par rapport à l'axe de rotation du trapèze (longueur de la corde du pendule théorique) et de l'amplitude du ballant.
- La composante liée aux mouvements du trapéziste est très variable. Elle dépend de la brutalité des mouvements effectués et de la masse du trapéziste. Les figures effectuées lors de la séance de test peuvent être considérées comme des sollicitations extrêmes. Les autres agrès ballants (trapèze ballant, corde volante, trapèze ou chaise pour porteur en ballant,...) correspondent à des coefficients de dynamique corporelle équivalents ou plus faibles. *La balançoire russe est un cas particulier non-traité dans le cadre de ce rapport.*

IV. Conditions

IV.1. Environnement

Les mesures ont été effectuées dans les conditions suivantes :

Date : 05 octobre 2002

Infrastructures : École Nationale des Arts du Cirque de Rosny (ENACR)

Lieu : Ferme du Buisson – Noisiel - France

Climat : 18°, conditions d'humidité ambiante normales

IV.2. Participants

Responsable : Thomas LORIAUX – Ingénieur – Trapéziste – Bureau Veritas

Assisté de : Christian ETIENNE – Trapéziste – ENACR

Artistes : Elèves des cours de trapèze loisirs de l'ENACR

IV.3. Banc d'essais

IV.3.1. Structure de trapèze volant :

- Suspentes de trapèze : Câbles acier + connecteurs acier
- Longueur d'axe à axe : 3.60m
- Angle d'ouverture : 2°
- Poids de la barre et des câbles : 3kg
- Ancrage de la structure : Directement sur les fermes métalliques de la salle
- Nature des ancrages : 1m de suspentes aciers précontraintes par haubanage. Composées de câbles aciers + tendeurs à lanterne + connecteurs.
- Rigidité de la structure : Très grande par comparaison à d'autres structures traditionnelles.

IV.3.2. Structure du filet de réception :

- Dimensions de la partie horizontale : 12.00 x 4.00 m, proportions traditionnelles.
- Emprise des pattes d'oie sur le filet : 5 m
- Hauteur : 2.50 m
- Soutiens des points de traction : sur poteaux métalliques
- Nature du filet : Maille polyester 20 x 20 mm, cordes Ø 5mm tressées, couleur blanche.
- Angles des câbles de traction : Câbles longitudinaux : ≈30° d'ouverture dans le plan horizontal, ≈35° au-dessus du sol dans le plan vertical.
- Angles des moufles de pattes d'oie : ≈40° au-dessus du sol dans le plan vertical.
- Nature des moufles de pattes d'oie : moufles 6 cordes Ø10mm polyester.

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

- Nature des points d'ancrages : Plaques aciers + 4 cheville à expansion pour les câbles longitudinaux. Ancrages par crapauds sur les bases de la structure métallique de la salle pour les ancres latéraux.

IV.4. Matériels de mesures

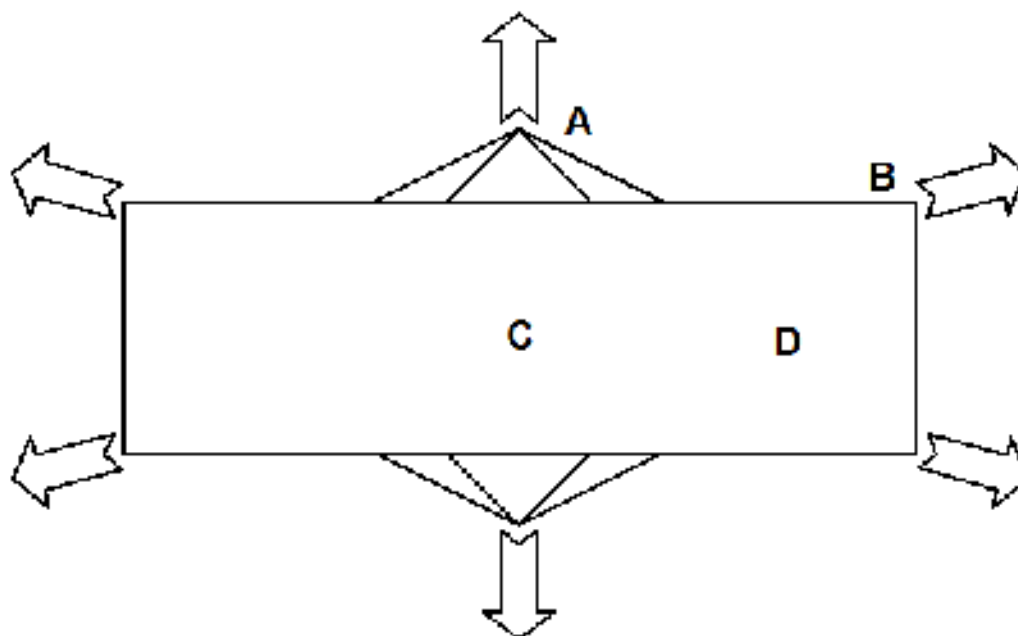
IV.4.1. Dynamomètres :

- Dynafor 2T pour les mesures sur trapèze
- Dynafor 5T pour les mesures sur filet
- Module de lecture à distance : Oui
- Mémoire de crête : Oui – échantillonnée à 40Hz

V. Protocoles

V.1. Filet

Traditionnellement, les filets de réception utilisés en trapèze volant sont constitués d'un filet horizontal rectangulaire complété de 2 bavettes latérales plus ou moins verticales. La partie horizontale est tendue par 6 points suivant le schéma suivant :



V.1.1. Points d'ancrages latéraux :

Pour les efforts appliqués aux points d'ancrages latéraux :

Le dynamomètre 5T est placé à l'horizontal en A. Entre l'extrémité de la patte d'oie et l'ancrage du poteau vertical. Il mesure donc directement l'effort appliqué au premier point fixe du filet. L'effort dans le point d'ancrage bas peut être déduit par décomposition trigonométrique.

Remarque : la rigidité du point d'ancrage du dynamomètre n'est donc pas totale. Elle dépend de l'élasticité du moufle latéral. Néanmoins, ce mode de montage est la configuration traditionnelle la plus rencontrée. Nous considérerons donc que les valeurs mesurées sont significatives.

Pour ces mesures, toutes les chutes ont été effectuées dans la zone la plus défavorable pour cet effort : C.

V.1.2. Points d'ancrages longitudinaux :

Pour les efforts appliqués aux points d'ancrages longitudinaux :

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

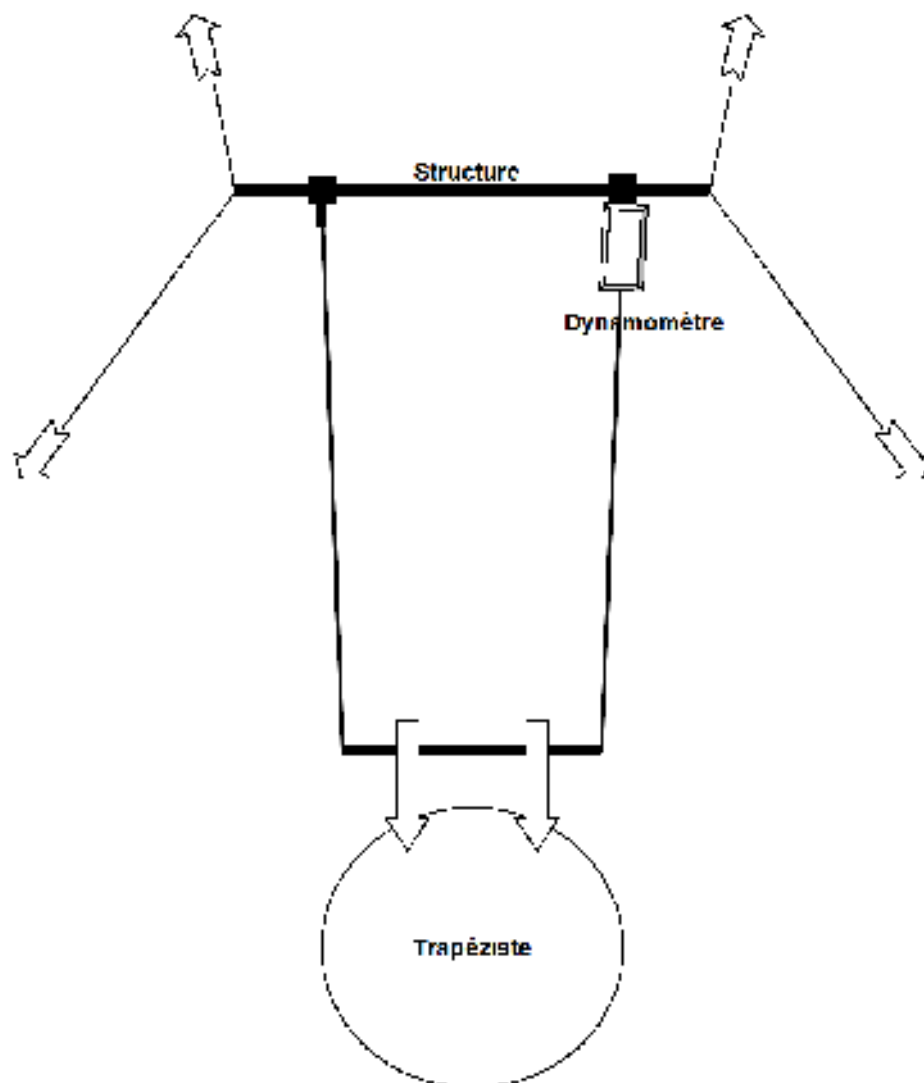
Le dynamomètre 5T est placé à l'horizontal en B. Entre l'extrémité du filet et l'ancrage du poteau vertical. Il mesure donc directement l'effort appliqué au premier point fixe du filet. L'effort dans le point d'ancrage bas peut être déduit par décomposition trigonométrique.

Remarque : la rigidité du point d'ancrage du dynamomètre peut être considérée comme maximale car les haubans longitudinaux sont constitués de câbles et de connecteurs en acier.

Pour ces mesures, les chutes ont été effectuées dans 2 zones défavorables pour cet effort : C et D.

V.2. Trapèze

Le dynamomètre 2T a été placé au sommet d'un des câbles de suspension du trapèze. Placé de la sorte, il mesure directement l'effort appliqué à la barre et aux câbles de suspension et ne perturbe pas le travail des trapézistes.



*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

VI. Résultats

VI.1. Filet

Les résultats sont présentés dans l'ordre chronologique de leur exécution.

Ce critère est important car le filet se détend naturellement avec le temps et les sollicitations.

Deux trapézistes expérimentés effectuent ces tests :

- TL – Homme – 83 kg
- CE – Homme – 80 kg

VI.1.1. Point d'accroche A :

Dans un premier temps, nos mesures ont été effectuées sur un filet tendu normalement.

Ensuite, le filet a été fortement tendu de façon à contrer le phénomène naturel de relâchement et à tester une situation présentant des efforts plus importants.

NB :

- La hauteur de chute estimée est mesurée par rapport au sol.
- Le filet tendu se situe à une hauteur moyenne approximative de 2,50m.

Série 1 : filet tendu par une personne : tension normale : chute en C :

| Description de l'effet | Masse de l'acrobate | Hauteur de chute estimée | valeur maximale |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 216 daN |
| Chute après un ballant normal | 83 kg | 10 m | 782 daN |
| Chute après un ballant fort | 83 kg | 10.50 m | 828 daN |
| Chute en boule après un ballant fort | 83 kg | 10.50 m | 842 daN |
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 122 daN |

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

Série 2 : filet retendu à la patte d'oie par une personne : tension normale : chute en C :

| Description de l'effet | Masse de l'acrobate | Hauteur de chute estimée | valeur maximale |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 224 daN |
| Chute en boule après un ballant fort | 83 kg | 10.50 m | 906 daN |
| Chute en boule après un ballant fort | 83 kg | 10.50 m | 908 daN |
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 164 daN |

Série 3 : filet retendu à la patte d'oie par 2 personnes : tension forte : chute en C :

| Description de l'effet | Masse de l'acrobate | Hauteur de chute estimée | valeur maximale |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 418 daN |
| Chute en boule depuis la structure | 80 kg | 11.50 m | 1030 daN |
| Chute en boule depuis la structure | 83 kg | 11.50 m | 1032 daN |
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 182 daN |

VI.1.2. Point d'accroche B :

Ces mesures ont été effectuées juste après les 3 séries ci-dessus.

L'ancrage correspondant a été retendu suite à l'installation du dynamomètre mais le coin du filet est revenu à sa position initiale.

Le filet n'a pas été retendu au cours de la série

La tension latérale a été laissée telle-quelle : tension forte.

NB :

- La hauteur de chute estimée est prise par rapport au sol.
- Le filet tendu se situe à une hauteur moyenne approximative de 2,50m.

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

Série 1 : filet tendu « à la marque habituelle » au TIRFOR : tension normale : chute en C :

| Description de l'effet | Masse de l'acrobate | Hauteur de chute estimée | valeur maximale |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 216 daN |
| Chute en boule depuis la structure | 83 kg | 11.50 m | 500 daN |
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 136 daN |
| Chute en boule depuis la structure | 80 kg | 11.50 m | 526 daN |
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 120 daN |

Série 2 : filet tendu « à la marque habituelle » au TIRFOR : tension normale : chute en D :

| Description de l'effet | Masse de l'acrobate | Hauteur de chute estimée | valeur maximale |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 120 daN |
| Chute en boule depuis la structure | 83 kg | 11.00 m | 522 daN |
| Tension à vide | 0 kg | 0 m | 112 daN |

VI.2. Trapèze

Les résultats sont présentés sans ordre chronologique.

Ce critère n'est pas significatif car les câbles de suspension du trapèze sont pratiquement invariables dans le temps.

6 trapézistes expérimentés effectuent ces tests :

- TL – Homme – 83 kg
- CE – Homme – 80 kg
- EB – Femme – 55 kg
- SC – Homme – 74 kg
- PB – Homme – 76 kg
- MP – Femme – 57 kg

Pour la précision de la méthode : les figures effectuées sont citées et le moment correspondant à l'effort maximal est précisé lorsque l'information est utile.

Trapèze au repos, le dynamomètre a été taré à 0 daN.

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

TL – Homme – 83 kg

| Description de la figure | Masse de l'acrobate | Valeur maximale | Coefficient dynamique correspondant |
|---|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Ballant très faible (45° d'amplitude) corps neutre. | 83 kg | 76 daN | 1,83 |
| Ballant normal | 83 kg | 155 daN | 3,73 |
| Ballant très puissant Impact maximal correspondant au fouétté. | 83 kg | 208 daN | 5,01 |
| Par-dessus | 83 kg | 173 daN | 4,17 |
| Mise en ventre (classique derrière) | 83 kg | 155 daN | 3,73 |
| Ballant très puissant + fouétté extrême Impact maximal correspondant au fouétté. | 83 kg | 210 daN | 5,06 |
| Saut périlleux en planche | 83 kg | 199 daN | 4,80 |

CE – Homme – 80 kg

| Description de la figure | Masse de l'acrobate | Valeur maximale | Coefficient dynamique correspondant |
|--|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Ballant normal | 80 kg | 100 daN | 2,50 |
| Ballant très puissant | 80 kg | 173 daN | 4,33 |
| Par-dessus casse-cou | 80 kg | 158 daN | 3,95 |
| Saut périlleux en planche Impact maximal correspondant au fouétté | 80 kg | 174 daN | 4,35 |
| Saut périlleux en planche | 80 kg | 174 daN | 4,35 |

EB – Femme – 55 kg

| Description de la figure | Masse de l'acrobate | Valeur maximale | Coefficient dynamique correspondant |
|--|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Ballant normal | 55 kg | 86 daN | 3,13 |
| Ballant très puissant Impact maximal correspondant au fouétté | 55 kg | 97 daN | 3,53 |
| Jarret | 55 kg | 73 daN | 2,65 |

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

SC – Homme – 74 kg

| Description de la figure | Masse de l'acrobate | Valeur maximale | Coefficient dynamique correspondant |
|--|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Départ croisé demi-tour | 74 kg | 140 daN | 3,78 |
| Ballant très puissant Impact maximal correspondant au fouétté | 74 kg | 143 daN | 3,86 |
| Mise en ventre par-dessous devant | 74 kg | 116 daN | 3,14 |

PB – Homme – 76 kg

| Description de la figure | Masse de l'acrobate | Valeur maximale | Coefficient dynamique correspondant |
|--------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Par-dessus | 76 kg | 97 daN | 2,55 |

MP – Femme – 57 kg

| Description de la figure | Masse de l'acrobate | Valeur maximale | Coefficient dynamique correspondant |
|--|---------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Ballant très puissant Impact maximal correspondant au fouétté | 57 kg | 100 daN | 3,51 |
| écart | 57 kg | 82 daN | 2,88 |

VII. Conclusions

VII.1. FILET

Les valeurs obtenues au niveau des points de fixation hauts du filet de réception n'appellent pas de conclusion particulière. Elles constituent une information indicative précieuse, mais ces valeurs peuvent naturellement évoluer d'un filet à l'autre en fonction du matériau, de la géométrie et de la tension initiale.

VII.2. AGRÈS BALLANTS

Les valeurs obtenues au niveau des suspensions des agrès ballants (en l'occurrence trapèze volant : $r = 3.60m$) sont nettement plus importantes que ce qui était attendu : 3,5g en moyenne, 5g au maximum au lieu de 2g attendu.

A titre indicatif :

- Le calcul des forces centrifuges du pendule parfait en amplitude maximale donne une valeur proche de 3,4g.
- La norme NF EN 913 : matériel de gymnastique : exigences générales : précise explicitement un facteur 2,5g associé à un coefficient de sécurité de 1,2.
- Le guide du LNE sur les équipements de gymnastique contient implicitement des valeurs proches de 5,05g sur les barres fixes. Hors les efforts sur cet agrès sont nettement plus forts que le cas des agrès ballants (rotations plus rapides et rayons plus courts)
- La norme NF EN 12197 : Barres fixes : exige une stabilité sous un effort horizontal de 380 daN. Ce qui correspond à 4,04g.

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

- La norme NF EN 12655 : Anneaux : exige une stabilité sous un effort vertical de 453 daN. Ce qui correspond à 4,82g.
- Remarque : Ces 3 dernières valeurs sont destinées à des vérifications par test statique. Elles contiennent donc implicitement un certain facteur d'augmentation : de 1,10 à 1,50 suivant les cas.

L'hypothèse formulée lors des réunions du groupe de travail mériterait donc d'être revue à la hausse. Pour rappel cette hypothèse tenait compte d'un facteur dynamique de 2g associé à un coefficient de sécurité de 1.5 et renvoyait le calcul de fatigue aux règles correspondant au matériau concerné.

Nous préconisons donc :

- **de fixer le coefficient à prendre en compte pour les agrès ballants à 5g.** Ce coefficient pourra néanmoins être réduit s'il a fait l'objet d'une étude et d'une justification particulière de la part du concepteur.
- de tenir compte d'un coefficient de sécurité entre la résistance ultime d'un élément et sa valeur de sollicitation dynamique d'au moins : $1,5 \times C_{fat}$ (coef. sur les charges variables) \times (coef. lié à la résistance à la fatigue du matériau sur 106 cycles). C_{fat} est très variable d'un matériau à l'autre. Il doit être déterminé en référence aux normes applicables ou en fonction des tests effectués sur le matériau.

VII.2.1. Exemple typique

2 pattes en acier E235 servent de suspension à un agrès ballant. Elles sont constituées à partir de plats de 10 mm percés et soudés sur une structure tubulaire.

D'après l'EUROCODE 3 chapitre 9 « Fatigue » on trouve :

- pour le dimensionnement de la patte (détail de catégorie 112) : C_{fat} vaut $235 / 141,36 = 1,66$
- pour le dimensionnement des soudures de cette patte (joint en T soudé par soudure d'angle travaillant à l'arrachement perpendiculairement à la soudure) (détail de catégorie 36) : C_{fat} vaut $235 / 44,70 = 5,26$

Ce qui abouti à la prise en compte de charges globales correspondant à :

- 1 personne = 94 kg
- Coefficient dynamique = 5
- Coefficient de sécurité sur les charges variables = 1,5
- Coefficient de fatigue : plat métallique = 1,66 ; soudures = 5,26

Effort à prendre en compte pour le dimensionnement d'une patte :

- $94 \text{ daN} \times 5 \times 1,5 \times 1,66 / 2 = 585,15 \text{ daN}$

Effort à prendre en compte pour le dimensionnement des soudures d'une patte :

- $94 \text{ daN} \times 5 \times 1,5 \times 5,26 / 2 = 1854,15 \text{ daN}$

*Ce document a été téléchargé sur www.aerisc.com.
Il ne peut être ni exploité ni diffusé.*

VII.3. CONCEPTION DES STRUCTURES ET DES ANCRAGES

Bien entendu, le caractère nettement dynamique de ces efforts est confirmé. Dans l'exemple du filet, l'effort est susceptible de monter de 250 daN à plus de 1000 daN en moins de 0.2".

Ce qui implique notamment de concevoir les connexions des filets et les points d'ancrages fixes avec des méthodes et des technologies compatibles avec les efforts dynamiques.

Les ancrages du type « chevilles chimiques » et « chevilles à expansion » nous paraissent particulièrement contre-indiquées lorsqu'ils travaillent à l'arrachement.

Pour les autres configurations (ancrages travaillant au cisaillement), la prise en compte des principes généraux de prévention des risques nécessite à notre sens de respecter les consignes suivantes :

- Faire réaliser ces ancrages par des professionnels spécialisés en leur communiquant précisément l'usage qui en sera fait et les valeurs caractéristiques à prendre en compte.
- Les faire vérifier une fois par an par un spécialiste compétent qui rédigera un rapport de vérification à joindre au dossier technique de l'établissement.
- Établir des consignes d'utilisation et les afficher au droit des points d'ancrage ou des accessoires concernés.



Thomas LORIAUX
Ingénieur Structures
Spécialiste Spectacles & Événements