

ifce

institut français  
du **cheval**  
et de l'**équitation**



**44<sup>ème</sup> Journée de la Recherche Équine**  
**Jeudi 15 mars 2018**

## **Conception d'un outil de suivi et d'expertise pour l'entraînement en cross**

J.-F. Debril<sup>1</sup>, P. Mull<sup>2</sup>, É. Pycik<sup>2</sup>, F. Durand<sup>1</sup>, S. Biau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CAIPS - CREPS de Poitiers, Château de Boivre, 86580 Vouneuil-sous-Biard, France

<sup>2</sup> I.F.C.E. Ecole Nationale d'Équitation, BP 207 - 49411 Saumur Cedex, France

### **Résumé**

Lors du cross, le couple cavalier-cheval quitte le champ visuel de l'entraîneur. Les dispositifs de mesure existants ne pallient pas ce déficit. À la demande de l'entraîneur du Pôle France Jeune de concours complet et avec son concours, un outil de suivi et d'expertise pour l'entraînement en cross a été conçu et développé. Le dispositif embarqué comprend quatre capteurs de force mono-axiaux (rênes et étriers), deux centrales inertielles (tronc) et une mini-caméra (visière du cavalier). Robuste, il ne gêne pas le couple. Un logiciel entraîneur a été conçu pour visualiser la vidéo enrichie des mesures. L'interface tactile, simple d'utilisation, permet une analyse du parcours avec le cavalier. Des mesures réalisées pour six cross sont présentées. Elles constituent à notre connaissance une première référence bibliographique. Les pics de force dans les étriers pendant le galop sont supérieurs à la littérature. Les accélérations au niveau des vertèbres lombaires sont source de traumatisme. L'outil est déployé par le plateau technique de l'IFCE-ENE. La base de données et son analyse permet de renseigner la discipline et d'améliorer la grille de lecture des vidéos enrichies.

**Mots clés : Biomécanique, instrumentation embarquée, centrale inertielle, capteur de force, vidéo, logiciel entraîneur**

### **Summary**

During cross-country, the couple horse/rider leaves trainer's visual field. Existing tools don't overcome this lack. Consequently to the Pôle France Jeune trainer's request and with his support, a monitoring and assessment tool for cross-country training was designed and developed. This embedded tool consists of four monoaxial force sensors (reins and stirrups), two inertial measurement units placed on the trunk and a mini-camera attached under helmet visor. It doesn't annoy the rider and the horse and it is sufficiently robust for a use during a cross-country. A trainer software was designed and allows a display of the video augmented with stirrups and reins forces and the trunk orientation. The interface is easy to use and allows a debriefing with the rider. Measures of six cross-country are presented. These constitute to our knowledge, a first bibliographic reference. Stirrups force peaks at gallop are higher than literature. Acceleration at lumbar vertebra can be source of traumatism. This tool is used on the IFCE/ENE technical platform. The data base and its analysis allow to increase knowledge of this sport and to improve augmented videos reading grid.

**Key-words: Biomechanics, embedded sensors, cross, IMU, force sensor, video, coaching software**



## Introduction

La performance en équitation dépend du cheval et du cavalier. Outre les capacités physiques et physiologiques de chacun, la communication au sein du couple est prépondérante. Cette communication passe par l'interaction entre le cavalier et le cheval notamment au niveau des points de contact (jambes, rênes et assiette). Les caractéristiques de ces interactions sont liées entre autres, à la posture du cavalier et du cheval et à leurs mouvements segmentaires (théorème du barycentre et deuxième loi de Newton).

L'équitation implique une indispensable gestion de son équilibre avec la particularité de participer à l'équilibre de son cheval en réorganisant le cas échéant sa motricité le plus rapidement possible pour la performance du couple. L'un des rôles de l'entraîneur est d'analyser et de corriger la gestuelle du cavalier. Pour cela il se base traditionnellement sur des connaissances disciplinaires plus ou moins empiriques, son expérience, des observables de terrain ainsi que sur le ressenti du cavalier.

Le concours complet en équitation est une discipline olympique depuis 1912. Cette discipline consiste à enchaîner trois tests où les points de pénalités se cumulent : le dressage, le cross puis l'hippique. Le dressage est la première épreuve à être courue. Le couple cavalier-cheval effectue alors un enchaînement de figures dans une carrière. Celui-ci est noté par plusieurs juges qui évaluent la précision des figures, l'obéissance et la soumission du cheval et l'attitude du cavalier. Le second test est l'épreuve de fond : le cross. Il s'agit pour le cavalier d'enchaîner dans un ordre défini un parcours d'obstacles fixes, de plusieurs kilomètres, sur terrain varié (herbe, sable, forêt, plaine, etc.), dans un ordre défini et dans un temps donné. Cette épreuve, qui se court à une vitesse plus soutenue que l'hippique, demande une grande franchise du cheval, des aptitudes d'endurance et une grande habileté du couple cavalier-cheval. Enfin, le dernier test est l'hippique qui consiste à enchaîner sur une carrière un parcours d'obstacles mobiles, sans faute et dans un temps imparti. Cette dernière épreuve permet de tester la fraîcheur du cheval après l'éprouvante épreuve de cross, mais aussi le respect et la technique du cheval sur un parcours imposé avec des obstacles non fixes.

Pour l'entraîneur, comparé à un enchaînement d'obstacles en carrière, un parcours de cross ne permet pas le suivi du cavalier pendant une grande partie de son parcours, même d'un point stratégique d'observation. Le débriefing à l'issue du parcours s'en trouve altéré et basé essentiellement sur le ressenti du cavalier. D'autre part, la vitesse du couple et la rigueur des conditions environnementales (projection d'eau, de sable et de boue) rend difficile la prise de mesure et explique certainement la pauvreté des données bibliographiques concernant cette épreuve.

Pour faciliter le travail de l'entraîneur, il est donc nécessaire d'avoir une instrumentation embarquée robuste permettant de décrire dans les conditions d'un cross les actions du cavalier et ses interactions avec le cheval tout le long du parcours.

L'outil le plus courant pour décrire la posture est le système d'analyse optoélectronique en trois dimensions. Il mesure la position de points disposés sur le corps ce qui permet en utilisant des modèles et méthodes issus de la biomécanique de déterminer la position des centres de gravité segmentaires. Ces systèmes sont limités à une utilisation sur des champs réduits sur simulateur équestre ou en manège.

Une alternative basée sur des MEMS (Microelectromechanical systems) existe pour la recherche ou le médical (Xsens, APDM,...) et se développe pour l'équitation (Equisense par exemple) mais elle n'a à notre connaissance pas encore été utilisée lors d'une épreuve de cross.

Plusieurs systèmes composés de capteurs de force ont été développés pour évaluer les interactions entre le cavalier et le cheval et plus précisément pour évaluer les tensions de rênes ou les forces exercées au niveau des étriers. Ces dispositifs sont encore à l'état de prototype et peu d'entre eux sont disponibles à la vente (ex : IPOS Rein Sensor®). Les actions de mains ont été évaluées dans le cadre de travaux de recherche en dressage ou à l'obstacle (Clayton *et al.*, 2005 ; Warren-Smith *et al.*, 2006 ; Eisersjö *et al.*, 2015 ; Kuhnke *et al.*, 2010). Les forces au niveau des étriers ont été évaluées au trot (Van Beek *et al.*, 2012) et au galop (Biau *et al.*, 2017). L'instrumentation la plus complète développée pour le terrain combine la mesure de forces uniaxiales dans les étriers, les tensions de rênes et les pressions exercées sur la selle (Biau *et al.*, 2017). Utilisable sur simulateur ou en dressage, ce système reste inadapté aux conditions environnementales d'enregistrement sur un parcours de cross. Ces dispositifs présentent l'inconvénient d'être encombrants et filaires et par conséquent fragiles et donc inadaptés pour aux contraintes du cross. À notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à la performance du cavalier de complet.

Pour situer le cavalier sur le parcours, il existe par exemple les systèmes de positionnement par satellite (GPS) et les caméras embarquées (GoPro, Cambox Isis). L'utilisation du GPS nécessite un travail de repérage des obstacles pour pouvoir les situer sur la carte du parcours (SAP, 2014). La fréquence de mesure limitée, la dépendance aux conditions météo et à un environnement souvent couvert (forêt) sont des facteurs limitants. L'utilisation de la caméra embarquée permet d'atteindre une fréquence de prise d'images d'au moins 30 Hz



facilitant la correction et le calage précis de l'ensemble des mesures sur le parcours. Les verrous techniques sont l'encombrement de ces caméras, leur autonomie et les risques liés à leur implantation en cas de choc.

Face au constat du manque d'information sur la performance du couple cavalier-cheval sur le parcours de cross, l'entraîneur du Pôle France jeune de concours complet a souhaité se voir doté d'un outil spécifique de mesure et d'analyse. Forts de notre expérience en instrumentation sportive, équestre notamment, l'IFCE nous a soutenus dans la conception d'un outil de suivi et d'expertise pour l'entraînement en cross. L'objet de cet article est de présenter la méthodologie et les résultats obtenus dans le cadre de ce projet de recherche et développement.

## 1 Outil de mesure

La conception et le développement de l'outil de mesure a été itératif, incrémental et adaptatif. L'entraîneur a été associé à toutes les phases du projet pour que ce nouvel outil puisse répondre au mieux à ses besoins.

Pour pouvoir repérer les mesures sur le parcours, une caméra embarquée a été synchronisée avec les autres équipements de mesure. Les interactions entre le cavalier et le cheval sont mesurées avec des capteurs de force intégrés au niveau des aides (rênes et étriers) et par l'orientation du tronc.

### 1.1 Localisation

L'épreuve du cross se déroulant sur plusieurs kilomètres, la localisation des mesures sur le parcours est nécessaire. Elle est réalisée grâce à la caméra embarquée miniature. Le choix s'est porté sur une Cambox Isis (Cambox Horse, La Chapelle Heulin, France) de 38 g fixée sous la visière du casque, voir Figure I. La résolution des images est en HD (720p). La fréquence d'acquisition de la vidéo est de 30 Hz.

Figure I : Caméra fixée à la visière du casque d'un cavalier (©A. Laurieux, IFCE)

*Figure I: Camera fixed under the visor of a rider's helmet*

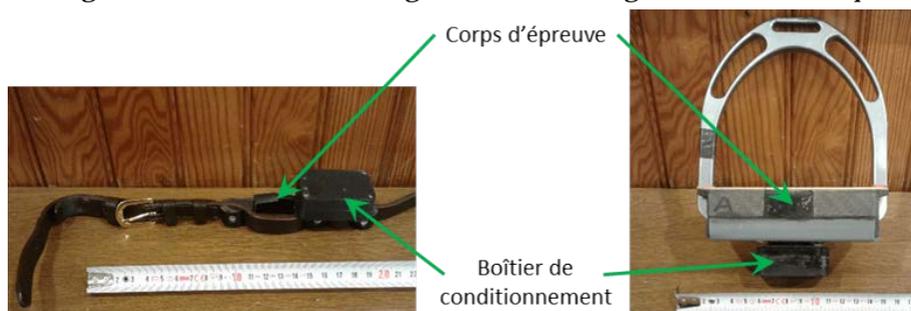


### 1.2 Aides

Une instrumentation de chaque rêne et de chaque étrier a été réalisée sur mesure. Notre choix s'est porté sur des capteurs de force monoaxiaux. Ils ont été intégrés directement dans le plancher de l'étrier et le long de la sangle de la rêne, voir Figure II. Une électronique spécifique a été développée de manière suffisamment petite pour être portée sur la rêne sans modifier les sensations du cavalier et rendue étanche pour ne pas être détériorée par les projections humides au niveau des étriers. La fréquence d'acquisition des mesures de force est de 900 Hz.

Figure II : Capteurs de force le long de la rêne à gauche et intégré au plancher de l'étrier à droite

*Figure II: Force sensors along the rein and integrated in the stirrup*





Pour des raisons de sécurité, le système a été conçu pour que les quatre modules d'acquisition ne soient pas reliés par une connexion filaire pendant les mesures.

L'étalonnage des capteurs d'efforts a été fait en laboratoire. Les quatre capteurs présentent un comportement linéaires ( $R^2 > 0,9965$ ).

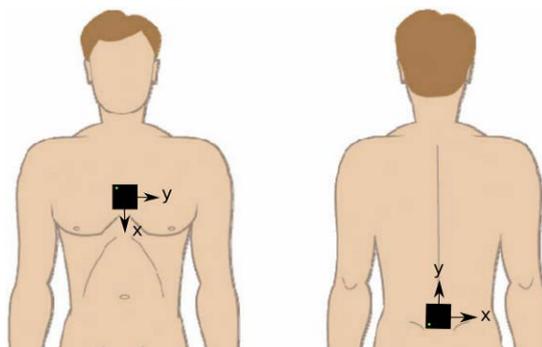
### 1.3 Orientation du tronc

La mesure de l'orientation du tronc pendant le cross présente une difficulté technique. Il n'y a pas à notre connaissance de capteur simple mesurant directement l'orientation dans ces conditions expérimentales. L'utilisation de centrales inertielles et d'un algorithme de fusion des données mesurées permet d'estimer cette orientation (Nez, 2017).

Le système de centrales inertielles retenu est APDM (APDM INC., Portland, USA). Les différents capteurs sont synchronisés entre eux sans fil pendant les mesures. La fréquence d'acquisition est de 128 Hz.

Deux centrales inertielles ont été positionnées sur le tronc (voir Figure III) : au milieu du sternum et au niveau de la cinquième vertèbre lombaire.

Figure III : Placement des centrales inertielles sur le cavalier et orientation des axes de mesure  
*Figure III: Inertial measurement units placed on the rider and measurement coordinate system*



La centrale inertielle positionnée au milieu du sternum est associée au segment corporel du thorax. La centrale inertielle sur la cinquième vertèbre lombaire est associée au segment corporel du bassin.

Les mouvements de flexion-extension sont décrits autour de l'axe médiolatéral, axe y pour le thorax et axe x pour le bassin (cf. Figure III). Les mouvements d'inclinaison vers la droite et vers la gauche sont décrits autour de l'axe antéropostérieur du cavalier.

L'estimation de l'orientation du tronc se fait par rapport à une position de référence. Celle-ci a été choisie cavalier debout les bras le long du corps, voir Figure IV.

Figure IV : Position de référence debout les bras le long du corps (©A. Laurieux, IFCE)  
*Figure IV: Standing reference posture with the arms along the body*

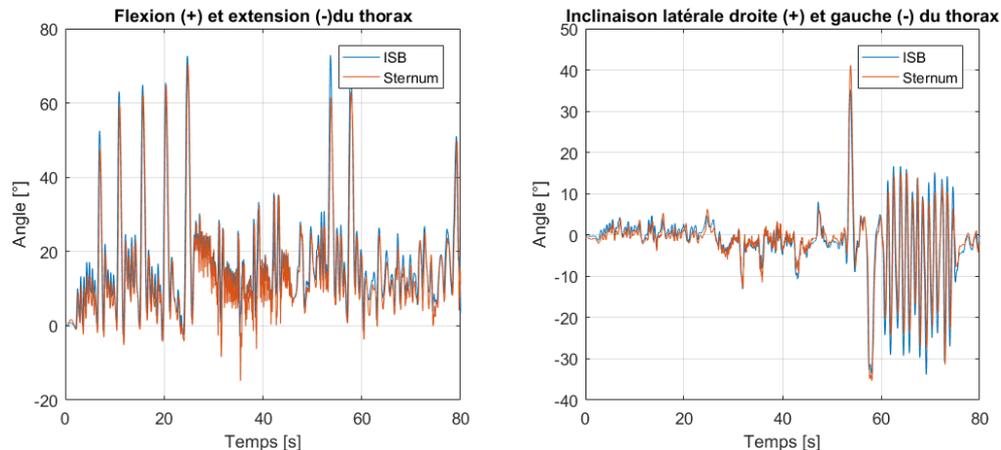


L'estimation de l'orientation du tronc avec les centrales inertielles a été comparée à une mesure de référence faite en laboratoire avec un système optoélectronique (Vicon, Oxford, UK), voir Figure V.



Figure V : Angles de flexion et d'extension et d'inclinaison latérale droite et gauche du thorax calculés à partir de la centrale inertielle du sternum en rouge et de marqueurs réfléchissants suivant les méthodes de l'ISB (Wu *et al.*, 2005) en bleu

*Figure V: Flexion and extension and right and left lateral inclination trunk angles calculated from the sternum inertial measurement unit in red and from reflective markers following the ISB methods (Wu *et al.*, 2005) in blue*



#### 1.4 Synchronisation

La synchronisation des systèmes de mesure passe par l'utilisation d'une connexion filaire entre les capteurs de force et un boîtier de synchronisation, voir Figure VI, d'une part et entre ce boîtier de synchronisation et celui des centrales inertielles d'autre part.

Figure VI : Capteurs des aides reliés au boîtier de synchronisation  
*Figure VI: Aids sensors connected to the synchronization box*



L'appui sur le bouton du boîtier de synchronisation déclenche des événements de synchronisation pour les capteurs qui lui sont connectés. L'horodatage de chaque appui est stocké dans la mémoire interne du boîtier de synchronisation. Il est ainsi possible pendant la séance de mesure de repérer à distance la fin de l'échauffement ou le début du cross.

À noter qu'il est aussi possible d'utiliser le système avec un ou plusieurs capteurs de force et/ou avec une ou plusieurs centrales inertielles. Cette flexibilité permet de s'adapter aux besoins de l'entraîneur pour un l'expertise d'un cavalier donné.

Concernant la synchronisation des mesures à la vidéo, deux Cambox Isis modifiées ont été utilisées. La première pouvait être pilotée par le boîtier de synchronisation. Lors de son remplacement par une nouvelle version, une synchronisation satisfaisante sur le même principe n'a pu être obtenue. La synchronisation de la vidéo se fait actuellement classiquement en recherchant l'image correspondant à un choc généré sur l'un des capteurs.



## 2 Résultats

### 2.1 D'un point de vue technique

#### 2.1.1 Mise en œuvre du matériel

Le matériel de mesure a été éprouvé dans différentes conditions d'utilisation : type de travail, climat, terrains variés. Son utilisation n'occasionne aucune gêne pour les cavaliers. La position adoptée pour les capteurs de rêne et leur volume réduit ne gêne ni le cheval à l'encolure ni le guidage. Les étriers se font totalement oublier et leur accroche au niveau de la semelle est appréciée.

#### 2.1.2 Logiciel entraîneur

Les mesures réalisées sont d'une part collectées dans la base de données à des fins d'études scientifiques et d'autre part misent en forme pour être visibles sur un logiciel dédié à l'entraîneur.

La Figure VII présente l'écran principal du logiciel entraîneur utilisable en tactile et à la souris. Il a été développé pour le système Windows 10.

Figure VII : Interface de visualisation des mesures et de la vidéo  
*Figure VII: Interface of the measures and the video*



La conception de l'ergonomie du logiciel a fait l'objet d'échanges réguliers avec l'entraîneur. La facilité d'utilisation et le caractère pédagogique ont été privilégiés tout en respectant la justesse et la pertinence des mesures. Le principe de ce logiciel est d'enrichir la vidéo avec l'affichage sélectif des données mesurées à l'aide des boutons latéraux.

L'intensité des forces dans les aides est représentée au milieu en haut de la vidéo. L'effort au niveau de l'étrier est représenté par une flèche vers le bas et la tension dans les rênes par un rond. La taille des items augmente en fonction de l'intensité de l'effort. La couleur de l'item passe du vert au rouge sur le même principe.

L'inclinaison du thorax est représentée par un point sur le cheval en vue de dessus dans la partie supérieure droite de l'écran. Plus l'angle de flexion est important et plus le point se déplace vers l'avant. Le plus grand cercle représente 90° de flexion. Par analogie, l'extension est représentée par un déplacement du point vers l'arrière du cheval, l'inclinaison latérale droite ou gauche par un déplacement vers la droite ou vers la gauche du cheval.

Sur la Figure VII, le cavalier effectue un virage vers la droite. Son thorax est incliné faiblement vers la droite (point vert sur la vue de dessus). Une tension faible est exercée dans les rênes (points verts). Un effort plus important est relevé sur l'étrier gauche (flèche jaune) que sur l'étrier droit (flèche verte).

Une fois que l'entraîneur a choisi les capteurs qu'il souhaite visualiser, un export de la vidéo enrichie est possible en appuyant sur le bouton « Générer une vidéo » en haut à gauche. La vidéo produite est au format standard et lisible sur tout matériel et lecteur.

Lorsque les mesures d'une zone intéressent plus particulièrement l'entraîneur, l'appui sur le bouton « Graphs » en haut à droite permet d'afficher un écran présentant les mesures sous forme de courbes à 90 Hz.



## 2.2 D'un point de vue scientifique

L'outil de mesure a été utilisé pour l'enregistrement de galops et de cross. À notre connaissance, il est le premier à avoir réalisé des mesures embarquées avec des capteurs de forces au niveau des aides et des centrales inertielles au niveau du tronc lors d'un cross.

Les valeurs présentées concernent six cross enregistrés dans le cadre d'entraînements de cavaliers de complet (instructeur, cavaliers du pôle France jeune et cavaliers en formation sport dispensés à l'ENE). Ces premiers résultats sont confrontés aux connaissances actuelles de la littérature.

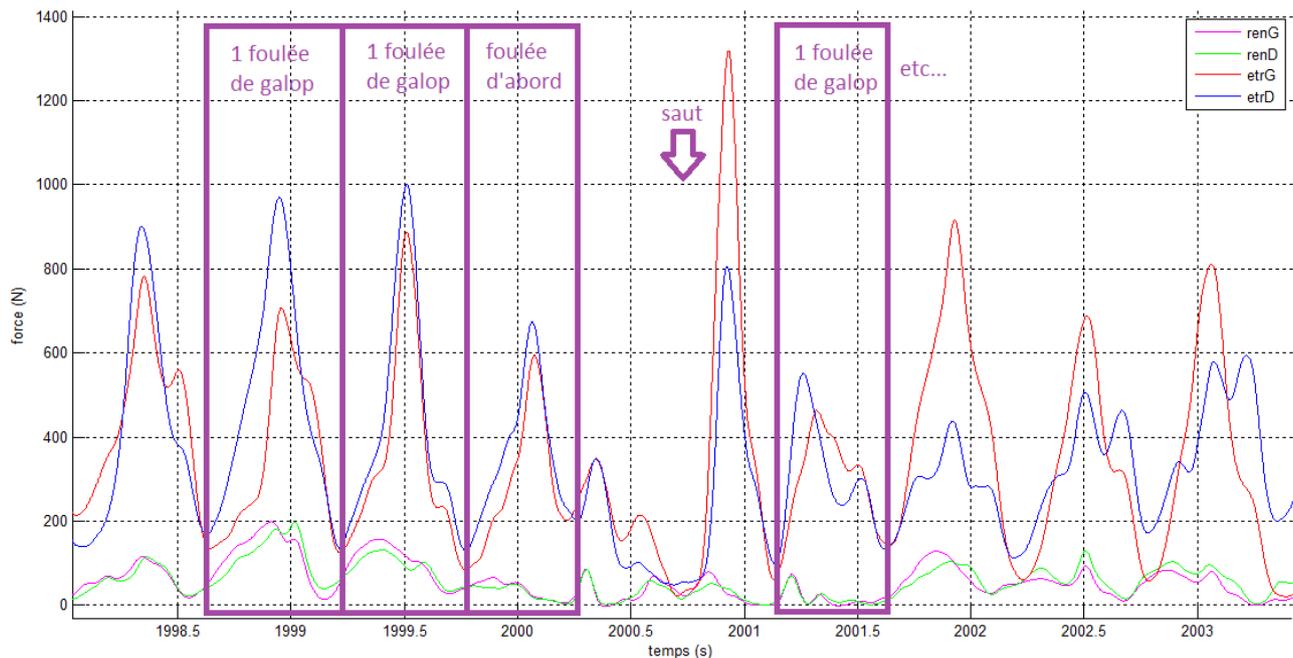
Ces premiers enregistrements et les suivants alimentent une base de données et améliorent notre connaissance de la discipline. La grille de lecture consécutive permet d'enrichir continuellement logiciel entraîneur.

### 2.2.1 Mesures des aides

La Figure VIII présente un exemple de forces mesurées dans les aides à l'abord et à la réception d'un obstacle pour un cavalier de 74 kg. Le pattern des foulées de galop avant l'obstacle est semblable à celui de la littérature (Biau *et al.*, 2017). Le saut correspond à une phase où les forces sont très réduites. À la réception les pics de forces dans les étriers correspondent à 1,1 et 1,8 fois le poids du cavalier sur les étriers gauche et droit respectivement.

Figure VIII : Efforts dans les rênes (gauche en rose et droite en vert) et dans les étriers (gauche en rouge et droite en bleu) à l'abord et la réception d'une haie en cross pour un cavalier de 74 kg

Figure VIII: Reins forces (pink for left and green for right) and stirrups forces (left in red and right in blue) at the approach and reception of a vegetal fence for a 74 kg rider



La bibliographie ne fait pas état d'une description complète des interactions mécaniques entre le cavalier et le cheval. Elle rapporte essentiellement des valeurs de tensions de rênes aux trois allures en ligne droite (Saute, 2015) et pendant une séance complète avec des figures de dressage (Eisersjö *et al.*, 2015). Les moyennes des tensions de rênes sont comprises entre 3,18 et 7 N pour le pas, entre 3,53 et 35 N pour le trot et entre 16,5 et 38 N pour le galop (Saute, 2015), les pics de tension pouvant atteindre 43 N au pas, 51 N au trot et 104 N au galop (Clayton *et al.*, 2005).

Les résultats obtenus avec l'équipement présenté dans cet article, pour six cross, sont cohérents par rapport aux valeurs de la littérature : la moyenne des tensions des rênes (calcul du root mean square) pendant les périodes de galop du cross est de  $53 \pm 30$  N à droite et  $52 \pm 22$  N à gauche, avec des valeurs maximales des tensions de rênes à droite de  $99 \pm 65$  N et de  $95 \pm 44$  N à gauche.

Concernant les actions de jambes dans la littérature, elles ont été partiellement évaluées en mesurant une force sur les étriers au trot (Van Beek *et al.*, 2012) et au galop (Biau *et al.*, 2017). Au trot enlevé, le cavalier exerce une force équivalente à 1,17 fois son poids par étrier lors de la phase enlevée, soit 2,34 fois son poids



sur les deux étriers. Au galop assis, les forces d'interaction sont quasiment deux fois moins élevées qu'au trot enlevé ( $0,37 \pm 0,08$  au galop et  $0,93 \pm 0,06$  au trot pour la moyenne des pics de force normalisés par le poids du cavalier, Biau *et al.*, 2017).

Les résultats obtenus avec l'équipement présenté dans cet article, pour six cross, complètent ceux de la littérature. La moyenne des pics de force mesurés sur les étriers, normalisés par le poids du cavalier, pendant les phases de galop des six cross est de  $1,1 \pm 0,2$  pour l'étrier gauche et  $1,0 \pm 0,4$  sur l'étrier droit. Ces valeurs sont plus élevées que pendant le galop assis ou le trot enlevé. Ceci peut s'expliquer par le fait que le cavalier est en partie en équilibre sur ses étriers.

### 2.2.2 Mesures des centrales inertielles

- **Accélérations**

Le Tableau 1 présente la moyenne des pics d'accélération mesurés suivant les trois composantes des accéléromètres inclus dans les centrales inertielles.

Tableau 1 : Moyenne des pics d'accélération pendant les sauts en g ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) pour les six parcours soient 77 sauts

Table 1: Average acceleration peaks at fences in g ( $g=9.81\text{m/s}^2$ ) for six courses (77 fences)

Médiolateral	Sternum		Médiolateral	Lombaire	
	Vertical	Antéro-postérieur		Vertical	Antéro-postérieur
$0,7 \pm 0,4$	Saturation de 4% des sauts	$2,3 \pm 1,0$	$1,1 \pm 0,5$	Saturation de 45% des sauts	$2,1 \pm 0,9$

Saturation du capteur à 6 g.

Les pics d'accélération mesurés pendant les cross sont particulièrement élevés au niveau des lombaires. Les vertèbres supportent au moins six g pour près d'un saut sur deux. Chaque pic d'accélération se traduit pour la structure ostéo-articulaire par un pic de force au niveau des vertèbres lombaires. La valeur des pics ainsi que leur répétition pendant un cross constituent une origine de troubles musculo-squelettique (Bernard, 1997). Ces valeurs restent à prendre en considération dans le cadre de la préparation physique du cavalier pour préserver la santé.

Ces premières valeurs d'accélération correspondent aux valeurs pressenties dans le cahier des charges. En effet, des pics d'accélération ont été enregistrés sur le cheval à la réception d'obstacle en carrière. Ces valeurs atteignaient quatre g (Barrey *et al.*, 1997). D'autre part, une étude (Wolfram *et al.*, 2013) nous avait orientés vers un facteur deux entre les accélérations du cheval et celles du cavalier. Bien qu'il s'agisse d'allure de dressage, l'accélération au niveau du sternum du cavalier tendait vers le double de l'accélération enregistrée au niveau du sternum du cheval. Ces valeurs pressenties sont en deçà pour le sternum du cavalier (seulement 3% des sauts  $>6g$ ) en revanche elles ont été largement obtenues au niveau des lombaires. Les résultats de ces premiers enregistrements montrent que la région des lombaires est plus sollicitée que le haut du rachis

- **Angles de flexion-extension et d'inclinaison latérale du tronc**

Comme pour les tensions de rênes et les forces exercées sur les étriers, la bibliographie rapporte des valeurs d'angles principalement pour des allures de dressage, et à partir de prise de mesures cinématiques. Les amplitudes de flexion-extension du buste (grand trochanter/pointe de l'épaule, Lovett *et al.*, 2005) sont de  $5,98^\circ$  au pas ;  $4,18^\circ$  au trot et  $4,78^\circ$  au galop ou encore de  $11^\circ \pm 4,8$  au pas et  $15,7^\circ \pm 4,5$  au trot, (C7, sacrum et les 2 épaules, Byström *et al.*, 2009). Les valeurs maximales sont de l'ordre de  $30^\circ$  à l'obstacle lors de la foulée d'appel (grand trochanter/pointe de l'épaule ; Galloux, 1995). Aucune étude n'a été réalisée dans les conditions d'un cross. Les valeurs de flexions-extensions calculées pendant les périodes de galop des cross que nous avons enregistrés varient en fonction des cavaliers de  $-13^\circ$  (extension)  $\pm 10$  à  $30^\circ \pm 2$  au niveau du sternum et de  $28^\circ \pm 7$  à  $-37^\circ \pm 7$  au niveau des lombaires.

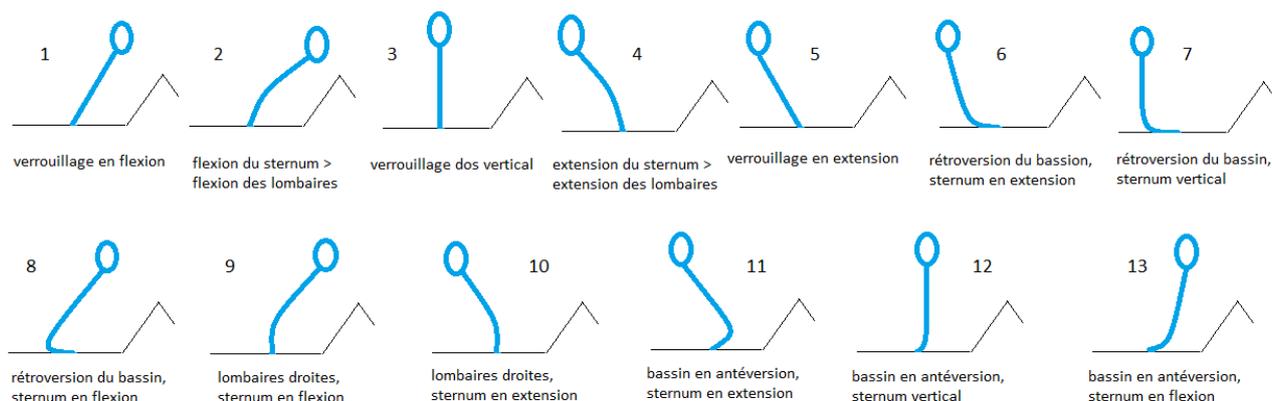
En ce qui concerne les résultats de l'inclinaison du buste (ou adduction/abduction), Byström *et al.* (2009) évaluent cette amplitude sur tapis roulant :  $4,0^\circ \pm 0,9$  au pas et  $5,9^\circ \pm 1,1$  au trot. Les valeurs d'inclinaison que nous avons calculées pendant les périodes de galop des cross enregistrés varient en fonction des cavaliers de  $5^\circ \pm 4$  à  $28^\circ \pm 4$  pour les lombaires et jusqu'à  $47^\circ \pm 7$  pour le sternum.

### 2.2.3 Stratégies motrices

A partir des valeurs d'angle de flexion-extension du thorax et du bassin, à chaque instant, une classification des postures a été proposée, voir Figure IX.



Figure IX : Postures à cheval en fonction des flexions et extensions du thorax et du bassin  
 Figure IX: Rider's postures on the horse depending of flexion/extension of the pelvis and the chest



Cette classification permet de déterminer les postures préférées d'un cavalier lors du cross mesuré. Le Tableau 2 présente les postures préférées pour chaque cavalier. La posture 1, flexion verrouillée, semble prédominante pour 4 cavaliers. Deux cavaliers semblent privilégier le déverrouillage entre le bas et le haut du rachis, postures 9 et 7.

Tableau 2 : Temps passé, en pourcentage de la durée du cross, dans les 13 postures (Figure IX) pour les six cavaliers

Table 2: Time spent, in percentage of the duration of a cross country, in the 13 postures (Figure IX) for the six riders

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cav 1	1	19	1	0	11	3	<b>34</b>	3	28	0	0	0	0
Cav 2	<b>37</b>	4	8	0	0	0	1	15	31	0	0	4	0
Cav 3	<b>45</b>	6	4	0	0	0	1	6	31	0	0	7	0
Cav 4	22	3	3	0	0	0	2	22	<b>46</b>	0	0	1	1
Cav 5	<b>51</b>	2	8	0	2	1	22	1	8	0	0	4	1
Cav 6	<b>59</b>	2	14	0	5	0	11	0	7	0	0	2	0

### 3 Conclusion et perspectives

L'outil de mesure développé est à notre connaissance le premier à permettre de réaliser des mesures embarquées sur un cross. Le cavalier n'est pas du tout gêné par son utilisation. Le logiciel entraîneur associé présente une visualisation synchrone des mesures avec la vidéo filmée depuis la visière du cavalier. Le succès de la conception de cet outil d'expertise a reposé sur un travail collaboratif et de nombreux allers-retours entre l'entraîneur avec ses besoins sur le terrain et les scientifiques.

Les mesures réalisées pour six cross constituent une première référence bibliographique décrivant la discipline. L'analyse de ces mesures permet de constituer les premiers indicateurs d'évaluation objective de la performance produite. Si les efforts dans les rênes sont équivalents à ceux de la littérature, les efforts au plancher des étrières sont supérieurs. Les accélérations subies au niveau des vertèbres lombaires sont source de troubles musculo-squelettiques. Une définition des stratégies posturales préférées est aussi accessible. Ces premiers indicateurs permettent d'enrichir la grille de lecture associée au logiciel entraîneur. Ainsi, l'entraîneur dispose d'informations nouvelles et pertinentes pour orienter ses consignes techniques et sa programmation d'entraînement du cavalier.

L'outil de mesure est maintenant exploité par le plateau technique de l'IFCE-ENE. Il permet à ses chercheurs de fournir au cavalier un compte-rendu d'expertise personnalisé pour chaque cross réalisé et d'enrichir la base de données.

À court terme, le dispositif de mesure peut être enrichi d'autres capteurs dont les mesures seront intégrées au logiciel entraîneur. Pour faciliter l'utilisation de l'outil de mesure, la synchronisation des capteurs entre eux et avec la caméra peut être améliorée. Cette synchronisation peut s'étendre aux systèmes de chronométrage



utilisés pour la compétition. À moyen terme, une diffusion en direct des mesures à destination de l'entraîneur ou pour la promotion de cette discipline olympique peut être envisagée.

## Remerciements

Ministère des Sports, Région Nouvelle-Aquitaine, CNRS, Université de Poitiers, CRITT Sport-Loisirs, E-molab.

## Références

- Barrey, E., Galloux, P., 1997. Analysis of the equine jumping technique by accelerometry. *Equine Vet. J.* 23 (suppl.): 45-19.
- Bernard, B.P., 1997. Musculoskeletal disorders and workplace factors: A Critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskel, ntis édition. DHHS (NIOSH) Publication No. 97-141.
- Biau, S., Debril, J.-F., 2017. Descriptif des aides au trot et au galop en ligne droite. *Journée de la Recherche Equine 2017 – Actes de colloques*, pp. 110-116.
- Byström, A., Rhodin, M., von Peinen, K., Weishaupt, M.A., Roepstorff, L., 2009. Basic kinematics of the saddle and rider in high-level dressage horses trotting on a treadmill. *Equine Vet J.*; 41(3):280-4.
- Clayton, H., Singleton, W., Lanovaz, J., Cloud, G., 2005. Strain gauge measurement of rein tension during riding: a pilot study. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2(3), pp.203-205.
- Eisersiö, M., Rhodin, M., Roepstorff, L., Egenvall, A., 2015. Rein tension in 8 professional riders during regular training sessions. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 10(5), pp.419-426.
- Galloux, P., 1995. Analyse du mouvement du cavalier à l'obstacle- Santé couple cavalier-cheval tome 69- Médecine du sport –HS.
- Kuhnke, S., Dumbell, L., Gauly, M., Johnson, J., McDonald, K., König von Borstel, U., 2010. A comparison of rein tension of the rider's dominant and non-dominant hand and the influence of the horse's laterality. *Comparative Exercise Physiology*, 7(02), pp.57-63.
- Lovett, T., Hodson-Tole, E., Nankervis, K., 2005. A preliminary investigation of rider position during walk, trot and canter. *Equine Comp. Exerc. Physiol.* 2, 71–76.
- SAP, 2014. Vidéo visionnée à : <https://youtu.be/IPBTeddxdlQ> [accès le 9 janvier 2018].
- Nez, A., 2017. Mesure inertielle pour l'analyse du mouvement humain : Optimisation des méthodologies de traitement et de fusion des données capteur, intégration anatomique. *Biomécanique, bio-ingénierie*. Université de Poitiers.
- Saute, C., 2018. La tension dans les rênes : causes et conséquences, Etude bibliographique. *Equ'idée*, [online], février 2015. Disponible à : <http://haras-nationaux.fr/information/accueil-equipaedia/articles-equidee.html> [accès le 5 janvier 2017]
- van Beek, F., de Cocq, P., Timmerman, M., Muller, M., 2012. Stirrup forces during horse riding: A comparison between sitting and rising trot. *The Veterinary Journal*, 193(1), pp.193-198.
- Warren-Smith, A., Curtis, R., Greetham, L. and McGreevy, P., 2007. Rein contact between horse and handler during specific equitation movements. *Applied Animal Behaviour Science*, 108(1-2), pp.157-169.
- Wolfram, I.A., Bosga, J., Meulenbroek, R.G.J., 2013. Coordination dynamics in horse-rider dyads *Human Movement Science* »
- Wu, G., van der Helm, F. C., (DirkJan) Veeger, H., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F. W. et Buchholz, B., 2005. Isb recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion – part ii: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), pp.981-992.