



43^{ème} Journée de la Recherche Équine
Jeudi 16 mars 2017

Analyse de la modification sur l'axe antéro-postérieur de la position des couteaux d'étrivières sur la biomécanique du cavalier et du cheval en mouvement

M. Sapone¹, P. Martin¹

¹ LIM France (CWD Sellier), chemin fontaine de Fanny 24300 Nontron

Résumé

Sur la selle, le placement des couteaux d'étrivières sur l'arçon, combiné à la forme du siège, détermine le placement du bassin et de la jambe du cavalier. L'impact de trois positions selon l'axe antéro-postérieur (avancée, médiane, reculée) des couteaux d'étrivières sur le fonctionnement biomécanique du cavalier et du cheval a été mesuré pour chacune des 80 foulées enregistrées. L'orientation du buste, le décalage temporel entre les déplacements des cavaliers et de leur cheval, la force exercée sur les étriers ainsi que l'évolution de l'aire de contact et des pressions exercées sur le dos du cheval ont permis de déterminer l'influence de la position des couteaux sur l'axe antéro-postérieur. La modification faible de la position du couteau entraîne des modifications biomécaniques significatives propres au cavalier, en lien avec ses caractéristiques morphologiques et fonctionnelles ainsi que son niveau d'expertise. Le développement de couteaux d'étrivières permettant un ajustement fin de la position des étriers dans le sens antéro-postérieur présente donc un réel intérêt afin de permettre aux cavaliers d'optimiser leur fonctionnement et celui de leurs chevaux.

Mots clés : Biomécanique, couteau d'étrivière, cheval, cavalier

Summary

On the saddle, the placement of the stirrup-bar on the tree, combined with the shape of the seat, determines the placement of the pelvis and the leg of the rider. The impact of three positions of the stirrup-bar along the antero-posterior axis (forward, middle, backward) on the biomechanical functioning of the rider and the horse was measured for each of the 80 recorded strides. The orientation of the trunk, the time delay between the movements of the riders and their horse, the force exerted on the stirrups and the evolution of the contact area and the pressures exerted on the horse's back made it possible to determine the influence of the position of the stirrup-bar on the antero-posterior axis. The small change in the position of the stirrup-bar causes significant biomechanical modifications specific to the rider, in relation to its morphological and functional characteristics as well as its level of expertise. The development of stirrup-bar allowing a fine adjustment of the position of the stirrups in the anteroposterior direction is therefore of real interest in order to allow the riders to optimize their operation and that of their horses.

Key-words: Biomechanics, stirrup-bar, horse, rider



Introduction

La selle est à l'interface entre le cavalier et son cheval et assure ainsi une part essentielle de leur communication. Cette dernière repose sur un certain nombre de moyens d'interaction appelés « les aides ». Le cavalier va notamment utiliser ses jambes et son bassin pour se stabiliser et interagir avec son cheval à chacune des trois allures (pas, trot, galop). Les points d'appui et de contact qui en résultent varient selon les trois techniques de monte (assise, enlevée, en suspension) alors que le contact par les rênes entre les mains du cavalier et la bouche du cheval restent, chez les cavaliers expérimentés, indépendants de la technique de monte. De plus, selon la position adoptée, un cavalier est capable de changer la distribution des pressions sous la selle (De Cocq *et al.* 2009). Il peut également altérer les allures, la main et le profil de la foulée par des instructions données à sa monture et des ajustements de sa propre position corporelle (Powers and Harrison 2002).

Si l'on se base sur la théorie des systèmes dynamiques qui a permis de considérer l'homme et le cheval comme deux systèmes auto-organisés, l'ensemble formé par le cavalier et son cheval peut alors être abordé comme un système unique. Dès lors, le couplage cavalier-cheval peut être mesuré à partir de variables simples telles que l'angle formé entre le buste du cavalier et l'axe de la tête du cheval (Lagarde *et al.* 2005) ou encore le déplacement du centre de masse du cavalier et celui du cheval (Pfau *et al.* 2009, Viry *et al.* 2013, Sleimen-Malkoun *et al.* 2016).

Le niveau d'expertise du cavalier joue également un rôle sur les paramètres biomécaniques du cheval. Un cavalier expert présente une meilleure synchronisation avec son cheval, notamment au galop (Wolframm *et al.* 2013). Il se caractérise en effet par l'adaptation continue de ses propres mouvements à ceux de son cheval afin de produire un patron de coordination commun permettant d'améliorer les échanges informationnels (Lagarde *et al.* 2005), d'accroître l'efficacité locomotrice (Pfau *et al.* 2009) et de préserver l'intégrité du cheval (Viry *et al.* 2015). De plus, les cavaliers experts adoptent une position beaucoup plus stable que les débutants (Peham *et al.* 2001) avec une orientation du buste plus proche de la verticale (Schils *et al.* 1993).

La selle est l'élément principal de communication entre le cavalier et son cheval. Elle doit donc être confortable pour l'assise du cavalier mais aussi pour le dos du cheval en permettant une bonne répartition des pressions. Le système étriers-étrivières constitue un moyen de communication entre les jambes du cavalier et les flancs du cheval. Des étriers longs vont apporter une zone de contact plus basse et plus importante. A l'inverse, des étriers courts vont restreindre la zone de contact mais favoriser le fonctionnement dynamique des membres inférieurs du cavalier en permettant une meilleure exploitation de ce système masse-ressort (Pfau *et al.* 2009). La longueur des étriers ne va donc pas être la même selon la discipline pratiquée. En dressage le cavalier va monter avec des étriers longs afin d'augmenter les échanges d'informations avec son cheval. A l'inverse, le cavalier d'obstacle va monter avec des étriers courts pour permettre une meilleure compensation des mouvements du cheval. L'utilisation des étriers va aussi agir sur les forces appliquées sous la selle. Ces forces vont être dépendantes de la technique de monte utilisée par le cavalier. Le pic de force verticale sur le dos du cheval est plus faible lorsque le cavalier est en appui sur ses étriers que lorsqu'il est assis (De Cocq *et al.* 2010, Martin *et al.* 2016). Le placement des couteaux d'étrivières sur l'arçon de la selle est également important car, combiné à la forme du siège, il détermine le placement du bassin et de la jambe du cavalier et influence ainsi son fonctionnement. Ce placement va donc être choisi en fonction de la discipline pratiquée et de la morphologie du cavalier. En dressage, les couteaux seront légèrement en arrière afin d'apporter une meilleure verticalité au cavalier et ainsi lui permettre d'englober son cheval avec ses jambes. En obstacle, les couteaux seront positionnés plus en avant afin de permettre au cavalier d'adopter un équilibre plus haut et plié pour favoriser l'amortissement des sauts. Une selle avec un siège et des couteaux d'étrivières adaptés à la morphologie du cavalier et la discipline pratiquée va donc permettre d'optimiser le fonctionnement du cavalier et dès lors du couple cavalier-cheval. Actuellement, la majorité des selles sont équipées d'étrivières réglables permettant au cavalier d'adapter la hauteur des étriers. En revanche, très peu de selles permettent un réglage dans le sens antéro-postérieur de la position des étriers avec un pas de plusieurs centimètres.

Pour ce projet, un prototype de couteaux d'étrivières permettant un réglage plus fin de la position des étriers du cavalier a été développé (Figure 1). En effet, ce prototype permet un réglage dans le sens antéro-postérieur de la position des étriers sur une plage de 2 cm avec un pas de 0,1 cm. Ils ont été montés sur une selle 2Gs, spécialement conçue pour l'expérimentation. Le but de ce projet étant de tester l'influence de la position des couteaux sur la biomécanique du cavalier et du cheval. Les positions extrêmes de réglages ainsi que la position médiane ont été testées.



La modification de la position des couteaux d'étrivières devrait entraîner une modification i) de la position du cavalier ii) de la synchronisation de ses mouvements à ceux de son cheval et iii) une variation de la répartition des pressions sous la selle.

Figure I : Couteau d'étrivière CWD réglable avec les 3 positions utilisées lors de l'expérimentation (1 : Avancée, 2 : Médiane, 3 : Reculée)

Figure I : CWD Adjustable stirrup-bar with the 3 positions used for the experimentation (1 : Forward, 2 : Middle, 3 : Backward)



1 Matériels et Méthodes

1.1 Participants

Cette expérimentation s'est déroulée avec 2 cavalières, l'une experte en saut d'obstacle (*cavalière 1*) et l'autre de niveau confirmé (*cavalière 2*), et un cheval spécialisé en saut d'obstacle sortant sur des épreuves de 110 cm et plus. En plus d'une différence de niveau de pratique, les deux cavalières sont de morphologie différente, la *cavalière 1* étant plus petite que la *cavalière 2*. Néanmoins, ces deux cavalières ont pour habitude de monter à cheval sur une selle d'obstacle avec une longueur d'étriers courte, propre à cette discipline.

1.2 Matériels

Au sein de ce protocole expérimental, différents matériels ont été utilisés de façon synchronisée pour étudier la biomécanique du couple cavalier-cheval et ses variations en réponse aux différentes conditions expérimentales.

1.2.1 Cinématique 2D

La mesure de la cinématique du couple cavalier-cheval a été réalisée par 4 caméras (UI-324 OCP-M-GL, Imaging Development Systems GmbH, Obersulm, Allemagne) qui ont permis d'avoir un champ cinématique 2D de 26 m de large. 30 marqueurs réfléchissants ont été utilisés (19 sur le cheval, 7 sur la cavalière, 4 sur la selle). La fréquence d'acquisition est de 75 images/seconde. La taille du champ cinématique nous permet d'enregistrer en moyenne 10 foulées de galop par passage.

1.2.2 Accéléromètres

Les accélérations des centres de masse respectifs de la cavalière et de son cheval ont été enregistrées à l'aide de deux accéléromètres tri-axes sans fils (G-Link-LRS, LORD Microstrain, Williston, Etats-Unis), placées l'un au centre de la région lombaire de la cavalière et l'autre au niveau de sternum du cheval (dans la sangle). L'étude s'est centrée ici sur les accélérations verticales, et plus précisément selon l'axe cranio-caudal pour la cavalière et l'axe dorso-ventral pour le cheval. Ces accélérations, enregistrées à une fréquence de 128 Hz, vont nous permettre lors du traitement des données de déterminer la synchronisation entre la cavalière et le cheval pour chacune des 3 positions de couteaux d'étrivières.



1.2.3 Capteurs de force des étriers

Les étriers ont été modifiés pour contenir des capteurs de tension/compression (LCM 200 2224 N, FUTEK Advanced Sensor Technology Inc., Irvine, Etats-Unis) afin de mesurer la force exercée par la cavalière sur chacun de ses deux étriers au cours du mouvement. Ces capteurs ont été placés entre les étriers et les étrivières et connectés à l'aide de joints à rotule pour reporter la force normale au plancher des étriers. Ils sont reliés à un capteur sans fil (convertisseur analogique numérique (CAN) et data logger : V-Link – LXRS, LORD Microstrain, Williston, Etats-Unis). La force exercée sur les étriers est enregistrée à une fréquence de 128 Hz.

1.2.4 Tapis capteur de pression

Les pressions sous la selle ont été mesurées à l'aide d'un tapis capteur de pression (Novel Electronics, Novel GmbH, Munich, Allemagne) à une fréquence de 75 Hz. Ce tapis est constitué de deux matrices rectangulaires, comportant chacune 128 capteurs, répartis sur les parties droite et gauche du dos du cheval. Une couverture de contention a été spécialement conçue pour cette expérimentation afin de maintenir le tapis Novel en place.

1.3 Déroulement de l'expérimentation

Ce protocole s'est déroulé dans un manège couvert afin d'être protégé de la lumière naturelle et de faciliter ainsi les enregistrements cinématiques 2D.

Après une phase d'échauffement, la cavalière a effectué 4 passages au galop dans chacune des 3 positions de couteaux (Avancée, Médiane, Reculée). Lors de ces passages, la cavalière avait pour consigne d'adopter une technique de monte en équilibre 2,5 points (en équilibre sur ses étriers tout en restant proche de sa selle). L'ordre des positions de couteaux a été contrebalancé entre les deux cavalières. A la fin de l'expérimentation, les cavalières ont renseigné leur préférence quant à la position des couteaux.

2 Résultats

Pour chaque cavalière les données sont analysées sur 40 foulées pour chaque position de couteaux (4 passages de 10 foulées pour chacune des positions). Les résultats exprimés ci-dessous concernent les résultats statistiques mais également les tendances observées sur chacune des variables mesurées. De plus, les deux cavalières participant à l'expérimentation n'avaient ni le même niveau ni les mêmes préférences quant à la position des couteaux (Figure II) : la première (*cavalière 1*) de niveau supérieur se sentait plus à l'aise avec des couteaux avancés, alors que la seconde (*cavalière 2*) avait la sensation de mieux fonctionner avec des couteaux reculés. Pour cette raison, les résultats sont exprimés indépendamment pour chacune des cavalières.

Figure II : Couteau d'étrivière CWD réglable avec les 3 positions utilisées lors de l'expérimentation (1 : Avancée, 2 : Médiane, 3 : Reculée)

Figure II : CWD Adjustable stirrup-bar with the 3 positions used for the experimentation (1 : Forward, 2 : Middle, 3 : Backward)



2.1 Pression exercée sous la selle

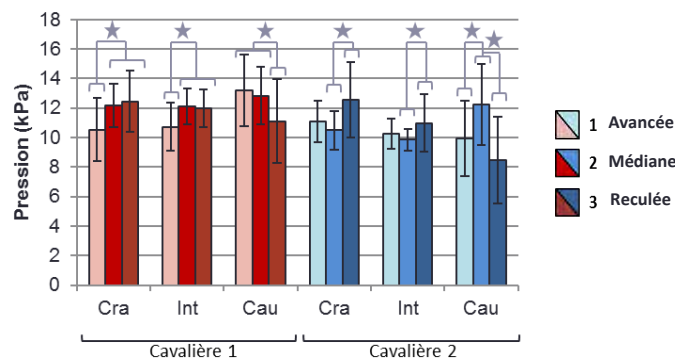
Pour *la cavalière 1*, on observe des variations significatives de la pression exercée sous la selle en fonction de la position des couteaux d'étrivières (Figure III). En zone crâniale (Cra), la pression est significativement plus faible lorsque les couteaux sont dans la position 1 que dans la position 2 ou 3 (1 : $10,53 \pm 2,13$ kPa vs. 2 : $12,16 \pm 1,49$ kPa et 3 : $12,45 \pm 2,07$ kPa) ($p < 0,05$). Il en est de même dans la zone intermédiaire (Int) (1 : $10,73 \pm 1,61$ kPa vs. 2 : $12,11 \pm 1,21$ kPa et 3 : $12,01 \pm 1,28$ kPa) ($p < 0,05$). En zone caudale (Cau), la pression est significativement plus faible lorsque les couteaux sont dans la position 3 que dans la position 1 ou 2 (3 : $11,11 \pm 2,84$ kPa vs. 1 : $13,19 \pm 2,43$ kPa et 2 : $12,82 \pm 1,95$ kPa) ($p < 0,05$).



Pour la *cavalière 2*, en zone crâniale la pression va être significativement plus faible en position 2 qu'en position 3 (2 : $10,48 \pm 1,28$ kPa vs. 3 : $12,58 \pm 2,55$ kPa) ($p < 0,05$). Il en est de même dans la zone intermédiaire (2 : $9,85 \pm 0,73$ kPa vs. 3 : $10,98 \pm 1,93$ kPa) ($p < 0,05$). En zone caudale, la pression est **significativement plus élevée en position 2 qu'en position 1 et 3** (2 : $12,22 \pm 2,73$ kPa vs. 1 : $8,93 \pm 2,54$ kPa et 3 : $9,93 \pm 2,54$ kPa) ($p < 0,05$).

Figure III : Pression exercée sur le dos du cheval (moyenne \pm écart-type) pour chacune des 3 zones (crâniale : Cra, Intermédiaire : Int, Caudale : Cau) du tapis pour chacune des deux cavalières et dans chacune des trois positions de couteaux d'étrivières. (*= $P < 0,05$)

Figure III : Pressure (mean \pm sd) per zone under the saddle (Cranial : Cra, Middle : Int, Caudal : Cau) for each of the two riders in each of the three stirrup-bar positions. (*= $P < 0,05$)



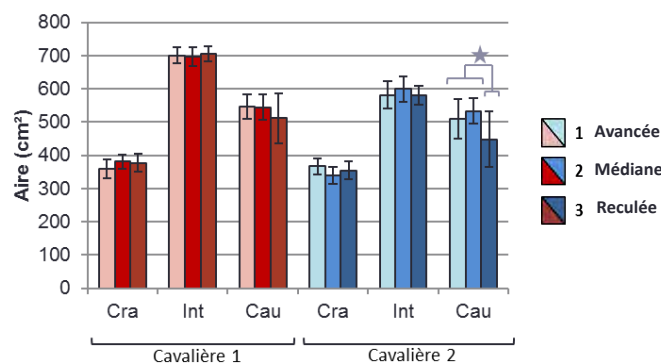
2.2 Aire de contact sous la selle

Pour la *cavalière 1*, quelle que soit la position des couteaux, l'aire de contact reste similaire dans chacune des zones du tapis (Figure IV). On retrouve alors le même comportement dans les trois positions de couteaux avec la zone intermédiaire qui présente une aire de contact plus importante que la zone caudale et crâniale, cette dernière ayant l'aire de contact la moins importante.

Pour la *cavalière 2*, en zone caudale, l'aire de contact est significativement plus faible lorsque les couteaux sont dans la position 3 que lorsqu'ils sont dans la position 1 et 2 (3 : $448,13 \pm 83,18$ cm² vs. 1 : $509,14 \pm 58,69$ cm² et 2 : $533,43 \pm 38,44$ cm²) ($p < 0,05$). D'une façon générale, comme pour la *cavalière 1* l'aire de contact est plus importante en zone intermédiaire et plus faible en zone crâniale quelle que soit la position des couteaux.

Figure IV : Aire de contact de la selle sur le dos du cheval (moyenne \pm écart-type) pour chacune des 3 zones (crâniale : Cra, Intermédiaire : Int, Caudale : Cau) pour chacune des deux cavalières et dans chacune des trois positions de couteaux d'étrivières. (*= $P < 0,05$)

Figure IV : Contact area (mean \pm sd) per zone under the saddle (Cranial : Cra, Middle : Int, Caudal : Cau) for each of the two riders in each of the three stirrup-bar positions. (*= $P < 0,05$)



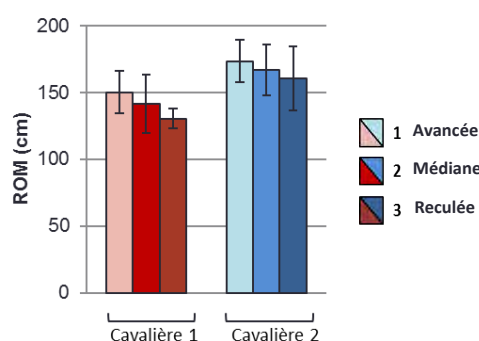


2.3 Déplacement du centre des pressions (COP)

L'amplitude (ROM) de déplacement antéro-postérieur du COP ne varie pas significativement en fonction de la position des couteaux (Figure V). On observe néanmoins des tendances non significatives chez les deux cavalières avec une amplitude de déplacement du COP qui diminue lorsque les couteaux sont reculés. (1 > 2 > 3).

Figure V : Déplacement du centre des pressions (moyenne \pm écart-type) pour chacune des deux cavalières et dans chacune des trois positions de couteaux d'étrivières.

Figure V : Center of pressure ROM (mean \pm sd) for each of the two riders in each of the three stirrup-bar positions.



2.4 Orientation du buste du cavalier

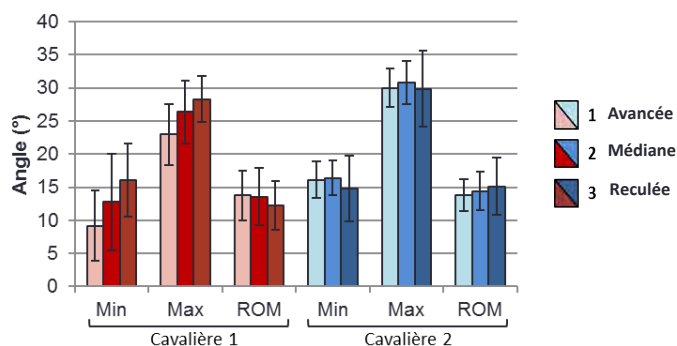
Les tests statistiques n'ont pas permis de mettre en avant des différences significatives sur cette variable, néanmoins des tendances sont observées (Figure VI).

Pour la *cavalière 1*, l'amplitude (ROM) de débattement du buste reste similaire dans les trois positions de couteaux. Néanmoins, le degré minimal d'orientation du buste va augmenter entre chaque position de couteaux, lorsque ces derniers sont positionnés de plus en plus vers l'arrière (1 : $9,2 \pm 5,3^\circ$ vs. 2 : $12,8 \pm 7,3^\circ$ et 3 : $16,1 \pm 5,5^\circ$). La même tendance est observée pour le degré maximal d'orientation du buste (1 : $22,9 \pm 4,6^\circ$ vs. 2 : $26,3 \pm 4,7^\circ$ et 3 : $28,3 \pm 3,5^\circ$).

Pour la *cavalière 2*, les trois paramètres mesurés restent similaires quelle que soit la position des couteaux.

Figure VI : Orientation du buste (min, max, amplitude (ROM)) (moyenne \pm écart-type) pour chacune des deux cavalières et dans chacune des trois positions de couteaux d'étrivières.

Figure VI : Trunk orientation (min, max, range of motion (ROM)) (mean \pm sd) for each of the two riders in each of the three stirrup-bar positions.



2.5 Force appliquée sur les étriers

Pour la *cavalière 1*, sur l'étrier gauche, les pics de force sont significativement plus faibles lorsque les couteaux sont en position 1 qu'en position 3 (1 : $401,72 \pm 177,71$ N vs. 3 : $624,08 \pm 226,65$ N) ($p < 0,05$) (Figure VII). Sur l'étrier droit, la force est significativement moins importante lorsque les couteaux sont en position 1 et 2 qu'en position 3 (1 : $215,58 \pm 98,84$ N et 2 : $235,22 \pm 92,04$ N vs. 3 : $370,24 \pm 83,18$ N) ($p <$

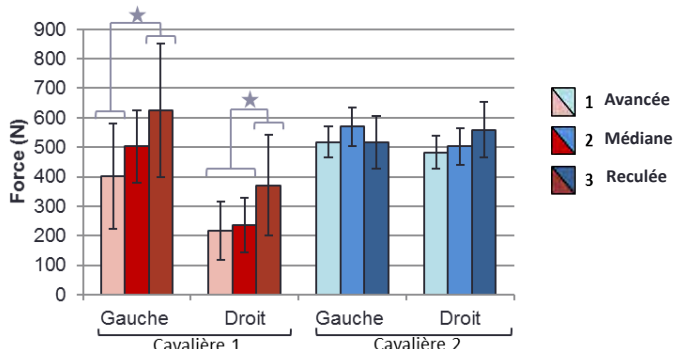


0,05). En plus de ces différences, on observe une augmentation non significative de la force appliquée sur les étriers entre chaque position de couteaux (dans le sens 1 vers 3).

Pour la **cavalière 2**, la force exercée sur les étriers gauche et droit reste similaire quelle que soit la position des couteaux.

Figure VII : Force appliquée sur les étriers droit et gauche (moyenne \pm écart-type) pour chacune des deux cavalières et dans chacune des trois positions de couteaux d'étrivières. (*= $P < 0.05$)

Figure VII : Force applied to right and left stirrups (mean \pm sd) for each of the two riders in each of the three stirrup-bar positions. (= $P < 0.05$)*



2.6 Synchronisation cavalier-cheval

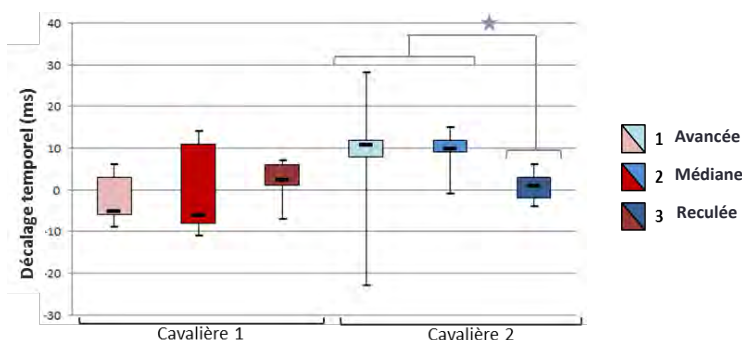
La synchronisation cavalier-cheval est appréciée par le décalage temporel à chaque foulée entre le point bas de rebroussement du déplacement vertical du cavalier et de celui du cheval.

Pour la **cavalière 1**, il n'y a pas de différences significatives en fonction de la position des couteaux (Figure VIII). Néanmoins, on peut observer une variabilité plus importante lorsque les couteaux sont en position 2, ainsi qu'une inversion de la valeur de la médiane entre les positions 1 et 2 en comparaison à la position 3. La médiane a une valeur négative (traduisant un mouvement du cavalier en avance par rapport à celui du cheval) dans les positions 1 et 2 mais prend une valeur positive (traduisant un retard des mouvements du cavalier sur ceux du cheval) dans la position 3.

Pour la **cavalière 2**, il y a un décalage temporel significativement plus faible dans la position 3 que dans la position 1 et 2 (valeurs moyennes : 3 : $0,70 \pm 2,84$ ms vs. 1 : $6,73 \pm 15,56$ ms et 2 : $9,18 \pm 3,72$ ms) ($p < 0,05$). On peut aussi noter que la variabilité entre les valeurs minimales et maximales est beaucoup plus importante dans la position 1 que dans les autres positions.

Figure VIII : Décalage temporel (médiane et distribution) pour chacune des deux cavalières dans chacune des trois positions de couteaux d'étrivières. (*= $P < 0.05$)

Figure VIII : Time delay (median and distribution) for each of the two riders in each of the three stirrup-bar positions. (= $P < 0.05$)*





3 Discussion

Cette étude a permis, à travers plusieurs paramètres, de montrer l'influence de la modification de la position des couteaux d'étrivières sur le fonctionnement biomécanique du couple cavalier-cheval.

La répartition des pressions sous la selle est l'un des paramètres qui varie selon la position des couteaux. Pour la cavalière 1, lorsque les couteaux sont en position médiane (position 2), les pressions sont similaires sur les trois zones (crâniale, intermédiaire et caudale) d'appui de la selle. En revanche, une avancée des couteaux (position 1) a pour effet de diminuer les pressions en zone crâniale et de les augmenter en zone caudale. A l'inverse, un recul de ces couteaux (position 3) engendre une diminution des pressions en zone caudale et une augmentation en zone crâniale. Ce phénomène, peut résulter d'une explication simplifiée du fonctionnement mécanique du cavalier selon laquelle le cavalier recule son poids du corps vers l'arrière lorsque ses jambes sont vers l'avant et inversement. D'après De Cocq *et al.* (2009), le changement de la position du cavalier en lien avec celle des couteaux entraîne un changement dans la distribution des pressions sous la selle comme observé pour la cavalière 1. En revanche, pour la cavalière 2, lorsque les couteaux sont avancés (1), la pression exercée sur le dos du cheval reste similaire dans les trois zones du tapis. En effet, la position avancée des couteaux n'entraîne pas d'augmentation de la pression en zone caudale pour la cavalière 2. Cette même position de couteaux donnait à la cavalière 2 la sensation d'être projetée vers l'arrière. Afin de contrer ce phénomène, la mise en place d'un mécanisme de compensation par la cavalière pourrait expliquer qu'il n'y ait pas d'augmentation de la pression en zone caudale pour cette position.

Bien qu'il y ait des variations dans la répartition des pressions sous la selle, l'aire de contact reste similaire quelle que soit la position des couteaux. En effet, la selle restant identique au cours de l'expérimentation, l'aire de contact reste similaire. En revanche, pour la cavalière 2, en zone caudale, on observe une diminution de l'aire de contact lorsque les couteaux sont reculés (3). Cela peut s'expliquer par l'augmentation de la pression sur l'avant qui peut entraîner un léger décollement de l'arrière de la selle et ainsi en réduire l'aire de contact.

L'amplitude de déplacement dans le sens antéro-postérieur du centre des pressions (COP) ne varie pas de façon significative selon la position des couteaux. On pourrait s'attendre à ce que ce paramètre soit également sensible à la position des couteaux mais ceci n'est pas confirmé par ces résultats. On observe néanmoins une amplitude de déplacement du COP plus importante pour la cavalière 2. L'amplitude de déplacement du COP permet d'apprécier la stabilité de la position du cavalier, en lien avec le niveau d'expertise de ce dernier (Peham *et al.* 2001).

Les résultats obtenus suite à l'analyse des mouvements du buste des cavalières ont permis de confirmer cette stabilité. En effet, la modification de la position des couteaux ne va pas modifier l'amplitude de débattement du buste du cavalier. Néanmoins, concernant les valeurs minimales et maximales de l'orientation du buste on observe des comportements différents selon la cavalière. La cavalière 1, ayant un niveau équestre supérieure, présente des valeurs d'orientation du buste différentes selon la position des couteaux. En effet, tout en conservant une amplitude de débattement similaire, la cavalière 1 aura un buste plus redressé, proche de la verticale, lorsque les couteaux sont avancés (1) et de plus en plus incliné vers l'avant lorsque l'on va reculer les couteaux. Pour la cavalière 2, il n'y a pas de modification de l'orientation du buste en fonction de la position des couteaux. Cela peut être lié au niveau d'expertise qui diffère entre les deux cavalières. La cavalière 2, qui a un niveau équestre inférieur à la cavalière 1, présente un fonctionnement plus figé à cheval. De plus, comme démontré par Schils *et al.* (1993), l'orientation du buste plus proche de la verticale de la cavalière 1, notamment dans les positions 1 et 2, pourrait être considérée comme un signe d'un niveau d'expertise supérieur.

L'orientation du buste du cavalier peut alors expliquer les variations de pressions observées sous la selle, notamment pour la cavalière 1. En effet, avec des couteaux reculés cette dernière aura un buste orienté vers l'avant ce qui entraîne une augmentation de la pression sous la selle en zone crâniale. A l'inverse, avec des couteaux avancés elle aura une orientation du buste plus proche de la verticale ce qui va réduire la pression sous la selle en zone crâniale et l'accentuer en zone caudale.

Des différences sont visibles également au niveau de la force appliquée sur les étriers. En effet, pour la cavalière 1, la force appliquée sur les étriers va évoluer en fonction de la position des couteaux. On constate une augmentation des pics de force lorsqu'on recule les couteaux (1 < 2 < 3). Cette augmentation est attribuée aux changements d'orientation du buste de la cavalière qui varie dans le même sens que la force appliquée sur les étriers selon la position des couteaux. De plus on observe une différence de force entre l'étrier droit et l'étrier gauche. Cette différence de latéralité peut être liée à l'allure asymétrique du galop. En effet, au galop le cavalier va charger le côté extérieur du cheval afin de libérer l'épaule correspondant au pied de galop. Lors de cette expérimentation, le cheval était au galop à droite, la cavalière 1 a donc appliqué plus de force sur l'étrier gauche. En revanche, la cavalière 2 ne présente pas de différence de latéralité entre son



étrier droit et gauche, ni de modification de la force appliquée sur les étriers en fonction de la position des couteaux.

Concernant la synchronisation cavalier-cheval, mesurée au point de rebroussement bas des déplacements verticaux respectifs du cavalier et du cheval, le comportement va différer entre les deux cavalières. La cavalière 1, ayant une préférence pour la position avancée des couteaux (1), présente un décalage temporel avec une médiane proche de 0 ms quelle que soit la position des couteaux et avec une variabilité inter-mesures qui reste proche de la tolérance de précision de ces mesures. La cavalière 2, ayant une préférence pour la position reculée des couteaux (3) présente une médiane de 1 ms pour cette position avec une faible variabilité. Les deux autres positions de couteaux (1 et 2) entraînent un décalage temporel positif (signe de retard du cavalier sur les mouvements de son cheval), bien que toujours proche de la tolérance des mesures. Néanmoins, la cavalière 2 présente une variabilité nettement accrue dans la position avancée des couteaux (1), avec de façon répétée des valeurs extrêmes de retard ou d'avance sur son cheval (deux à trois fois la précision de mesure). La différence observée entre les deux cavalières peut se traduire par le niveau d'expertise de ces dernières (Wolframm *et al.* 2013). En effet, la cavalière 1 ayant un niveau d'expertise supérieur va, quelle que soit la position des couteaux, adapter sa position à chaque foulée pour essayer de suivre au mieux les mouvements de son cheval évitant ainsi d'accroître son retard ou son avance par rapport à celui-ci. En revanche, la variabilité observée dans la position avancée des couteaux pour la cavalière 2 reflète l'inconfort de cette dernière dans cette position. Cette cavalière a plus de difficultés à réadapter sa position pour réduire le décalage temporel avec son cheval lorsque les couteaux sont avancés.

Cette étude est centrée principalement sur l'effet de la position des couteaux d'étrivières sur le fonctionnement biomécanique du cavalier. L'effet de cette modification sur le cheval n'étant mesurée qu'à travers la répartition des pressions sous la selle, une perspective à ce projet est d'étudier le fonctionnement biomécanique du cheval selon la position des couteaux. Une étude menée par Martin *et al.* (2015) a démontré que le changement de la répartition des pressions sur le dos du cheval avait un effet sur sa locomotion. En effet, l'augmentation des pressions en zone caudale entraîne une diminution de la mobilité de la colonne vertébrale du cheval en zone thoraco-lombaire et une augmentation de cette mobilité en zone crâniale. De plus, il a été noté dans cette étude une diminution de la protraction des membres postérieurs du cheval ainsi qu'une augmentation de la protraction des membres antérieurs. D'après les résultats décrits précédemment, une modification dans le sens antéro-postérieur de la position des couteaux d'étrivières devrait alors entraîner une modification des mouvements de flexion-extension de la colonne du cheval ainsi que de l'action de ses membres.

4 Conclusion

L'objectif de cette étude était de démontrer l'intérêt d'un réglage fin dans le sens antéro-postérieur de la position des couteaux d'étrivières dans l'optimisation du fonctionnement du couple cavalier-cheval. Bien que limitée à deux couples, les résultats obtenus tendent à montrer un intérêt non négligeable pour ce produit. En effet, les deux cavalières participant à l'expérimentation n'avaient ni le même niveau ni les mêmes préférences quant à la position des couteaux. Malgré ces différences, nous avons pu voir sur chacune d'elles des variations dans les différents paramètres enregistrés selon la position des couteaux. La présence de couteaux réglables sur la selle va alors permettre aux cavaliers d'optimiser leur fonctionnement ainsi que celui de leur cheval en apportant un réglage fin de la position des couteaux selon leurs propres caractéristiques morphologiques et fonctionnelles, celles de leur cheval, ou encore selon la discipline ou l'exercice pratiqué.

Néanmoins, il peut y avoir des différences entre le ressenti du cavalier au niveau de son propre confort et le confort du cheval. Dans cette étude, les deux cavalières avaient chacune une préférence pour une position extrême des couteaux. Or, les positions extrêmes vont engendrer des pressions plus importantes sur certaines zones du dos du cheval, en zone crâniale pour la position arrière des couteaux et en zone caudale pour la position avant des couteaux. Dès lors, il est important de trouver le juste équilibre entre confort du cavalier et confort du cheval afin d'optimiser le fonctionnement du couple cavalier-cheval.



Références

- De Cocq, P., Clayton, H. M., Terada, K., Muller, M., & van Leeuwen, J. L. (2009). Usability of normal force distribution measurements to evaluate asymmetrical loading of the back of the horse and different rider positions on a standing horse. *The Veterinary Journal*, **181**(3), 266-273.
- De Cocq, P., Mariken Duncker, A., Clayton, H. M., Bobbert, M. F., Muller, M., & van Leeuwen, J. L. (2010). Vertical forces on the horse's back in sitting and rising trot. *Journal of Biomechanics*, **43**(4), 627-631.
- Lagarde, J., Peham, C., Licka, T., & Kelso, J. A. S. (2005). Coordination dynamics of the horse-rider system. *Journal of Motor Behavior*, **37**(6), 418-424.
- Martin, P., Chateau, H., Pourcelot, P., Duray, L., & Cheze, L. (2015). Effects of a prototype saddle (short panels) on the biomechanics of the equine back: preliminary results. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, **18**(sup1), 1990-1991.
- Martin, P., Cheze, L., Pourcelot, P., Desquilbet, L., Duray, L., & Chateau, H. (2016). Effect of the rider position during rising trot on the horse's biomechanics (back and trunk kinematics and pressure under the saddle). *Journal of Biomechanics*, **49**(7), 1027-1033.
- Peham, C., Licka, T., Kapaun, M., & Scheidl, M. (2001). A new method to quantify harmony of the horse-rider system in dressage. *Sports Engineering*, **4**(2), 95-101.
- Pfau, T., Spence, A., Starke, S., Ferrari, M., & Wilson, A. (2009). Modern riding style improves horse racing times. *Science*, **325**(5938), 289-289.
- Powers, P., & Harrison, A. (2002). Show-Jumping: Effects of the rider on the linear kinematics of jumping horses. *Sports Biomechanics*, **1**(2), 135-146.
- Schils, S. J., Greer, N. L., Stoner, L. J., & Kobluk, C. N. (1993). Kinematic analysis of the equestrian—walk, posting trot and sitting trot. *Human Movement Science*, **12**(6), 693-712.
- Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J., Viry, S., Berton, E., & Nicol, M. L. (2016). 16 Horse-rider interactions in endurance racing. *Interpersonal Coordination and Performance in Social Systems*, 226.
- Viry, S., Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J. J., Frances, J. P., Berton, E., Laurent, M., & Nicol, C. (2013). Patterns of horse-rider coordination during endurance race: a dynamical system approach. *PloS One*, **8**(8), e71804.
- Viry, S., De Graaf, J. B., Frances, J. P., Berton, E., Laurent, M., & Nicol, C. (2015). Combined influence of expertise and fatigue on riding strategy and horse-rider coupling during the time course of endurance races. *Equine Veterinary Journal*, **47**(1), 78-82.
- Wolframm, I. A., Bosga, J., & Meulenbroek, R. G. (2013). Coordination dynamics in horse-rider dyads. *Human Movement Science*, **32**(1), 157-70.