



Adaptation biomécanique du cavalier à cheval, étude comparative entre deux simulateurs

Attitude et fonctionnement du cavalier, mesures cinématiques et accélérométriques effectuées sur un simulateur de la gamme Persival

P. Galloux¹, R. Jeddi², B. Auvinet³, S. Biau¹, P. Lacouture²

¹Ecole nationale d'équitation, BP207 - 49411 Saumur.

²Laboratoire de métallurgie physique (UMR 6630) Bat SP2MI, BD3 Téléport, BP179, 86960 Futuroscope.

³Association Pégase Mayenne, département de médecine du sport, Centre hospitalier de Laval, 53015 Laval Cedex.

Résumé

Un cavalier effectue un travail au trot et au galop, sur deux simulateurs. Le mouvement est étudié à partir d'une analyse en 3 dimensions utilisant 4 caméras. La fixité des épaules et l'adaptation de la colonne vertébrale sont observées. Deux capteurs accélérométriques sont fixés dans le dos du sujet. Le cavalier amplifie les accélérations subies et augmente son adaptation avec la vitesse et l'allure.

Mots clefs : Equitation, cinématique, simulateur.

Abstract

A rider competed an exercise at trot and canter on two simulators. The displacement was study with an 3D analysis used 4 cameras. The fixity of the rider's shoulders and the adaptation of the spine were observed. Two acclerometric sensors were fixed on the rider's back. The rider amplifies the horse's accelerations and increase his adaptation with the speed and the gait.

Keywords : Riding, kinematic, simulator.

INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est d'évaluer la différence entre la sollicitation engendrée par deux simulateurs afin d'étudier l'adaptation biomécanique des cavaliers en fonction de leurs niveau et discipline. Cette étude méthodologique se limitera à la mesure des paramètres auxquels se réfèrent les entraîneurs pour un sujet placé sur deux simulateurs de la gamme Persival : le système professionnel Persival IIB et le modèle Club Sinival II. Ces paramètres sont liés à l'objectif d'un bon fonctionnement du cavalier qui est l'épargne de son capital santé et la recherche d'une meilleure efficacité.

ETAT DES CONNAISSANCES

Si l'adaptation du cavalier a fait l'objet de nombreuses querelles d'école et d'évolution dans la manière d'observer le cavalier (Girard, 1996), les études scientifiques restent rares de par la difficulté d'appréhender un mouvement relativement fin et éloigné des systèmes de mesure. Les mesures accélérométriques réalisées au garrot sur des chevaux (Galloux et al) ont quantifié les accélérations subies par le cavalier et donné une première approximation de l'amplitude du mouvement de la selle aux différentes allures.

PROTOCOLE

Un sujet expérimenté est assis sur une selle d'obstacle placée sur un simulateur Sinival II à 3 degrés de liberté puis sur un simulateur Persival IIB dont le mouvement a 6 degrés de liberté. La mesure est réalisée pendant 15 secondes au trot et au galop après stabilisation du mouvement. Sur Sinival, la fréquence de travail est 1,3 foulée/sec au trot et 1,1 foulée/sec au galop. Sur Persival, la fréquence est de 1,2 foulées/sec mais deux amplitudes verticales sont étudiées. Au galop, la fréquence est de 1,4 foulées/sec. Les allures choisies de Persival sont celles qui sont le plus couramment utilisées par les instructeurs car jugées les plus susceptibles de déclencher le mouvement attendu.

Le trot et le galop simulés sont bien distincts et se rapprochent de la réalité avec un mouvement principalement vertical au trot et une prédominance du tangage au galop. Seuls les mouvements dans le plan longitudinal sont les plus significatifs dans le cas de ces allures simulées.

Mesures cinématiques (Saga 3) : le simulateur est placé au centre de 4 caméras filmant à 50 images/sec. Les centres articulaires du cavalier sont repérés par 21 marqueurs collés sur le sujet (Figure 1). De même le pommeau et le troussequin de la selle sont repérés par deux marqueurs. Le volume calibré est un cube de 1,50 m de côté. Les coordonnées 3D des marqueurs sont obtenues avec une précision évaluée à 1,5mm.

Mesures accélérométriques (Equimetrix Inra) : le simulateur et le sujet portent chacun deux accéléromètres placés dans leurs plans longitudinal et vertical propres. Le système cavalier est placé dans le bas du dos, le système lié au simulateur est placé sous la selle à l'aplomb du cavalier. La fréquence d'acquisition est également à 50Hz ; la superposition des signaux accélérométriques et des valeurs cinématiques est faite par superposition des courbes accélérométriques.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les signaux enregistrés étant très stables et reproductibles les mouvements seront étudiés sur deux foulées prises en milieu de séquence. Les valeurs mesurées ne concernant qu'un sujet sont données à titre d'exemple ; elles devront être validées ultérieurement sur un groupe plus important et seront probablement une signature de chaque sujet.

Attitude du cavalier

La littérature décrit les attitudes du cavalier suivant la rotation du bassin en antéversion ou en rétroversion, la position générale du haut du corps et l'importance de la lordose¹.

¹ Convexité antérieure de la colonne vertébrale

L'orientation du bassin² est mesurée par l'angle que font les épines iliaques antérieure et postérieure avec l'horizontale. Si on admet que cette ligne est horizontale, le cavalier observé présente une antéversion moyenne du bassin de -6° au trot et de -8° au galop relative par rapport à la position moyenne de la selle. Cette bascule du bassin correspond aux observations présentées par Auvinet (1994). Le mouvement en tangage du simulateur étant très faible au trot, la rotation du bassin est de quelques degrés. Par contre la figure II montre au galop une amplitude de rotation du bassin très importante et déphasée par rapport au mouvement généré par le simulateur, le bassin du cavalier s'opposant au déséquilibre engendré.

La position du buste³ est illustrée par la figure III : le buste du cavalier est en avant de la verticale au galop de -9 degrés. Cette avancée en avant de la verticale est à nuancer compte tenu que le cavalier croise ses bras devant lui pour ne pas cacher le marqueur de côté.

L'orientation du buste vers l'avant au cours du mouvement est plus le fait du recul du bassin vers l'arrière que d'une avancée des épaules. Le bassin amplifie le mouvement engendré par la machine en présentant un certain retard lors du retour vers l'avant. Le recul du buste s'accompagne d'une ouverture de l'angle de la hanche (Morelle, 1983). Au trot, le mouvement de rétablissement du buste apparaît en deux temps, il est également le fait du bassin (Figure IV)

Au trot, ce cavalier présente une cyphose⁴ (27 ± 8 mm entre C7 et dorsale haut) et une lordose peu significative (-6 ± 8 mm entre la charnière dorso-lombaire et L1-L2). Cette lordose effacée serait, d'après Fouquet (1996), un facteur d'épargne pour les disques vertébraux. Ces valeurs sont amplifiées au galop, la cyphose atteignant 39 ± 17 mm et la lordose -11 ± 18 mm. Ces valeurs évoluent ensemble et dans le même sens au cours de la foulée.

Amortissement du haut du corps

Le cavalier amortit le mouvement de la selle par un mouvement accru de son bassin et en anticipant le déplacement de la selle. On observe ainsi aucune diminution de l'amplitude du déplacement vertical générée par la selle sur les points de la colonne vertébrale du sujet, mais un mouvement d'évitement du sujet dans la phase descendante. Ce phénomène est également observé sur Persival (Figure V) : une limitation du mouvement descendant est observée plus particulièrement au niveau de la cervicale 7 alors qu'une amplification du mouvement vertical est observée au niveau intermédiaire (L1-L2 à dorsale haut). Ce phénomène est largement accentué lorsque l'on passe au grand trot : pour retrouver au niveau de la nuque une amplitude du mouvement égale au mouvement généré (105 mm), le cavalier accentue fortement le déplacement des liaisons intermédiaires pour atteindre des valeurs de 135 mm. La figure VI montre le passage du petit trot au grand trot la perte d'adaptation du cavalier est plus marquée lors de la phase descendante, la compensation restant bien réalisée dans la montée.

L'observation des valeurs suivant l'axe horizontal de la figure VII montre par contre une réduction de l'amplitude du mouvement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la selle. Cet affaiblissement s'accompagne d'un mouvement plus complexe au niveau de la cervicale C7 qui apparaît en opposition de phase avec les points inférieurs. Au galop de Persival, une amplitude horizontale générée de 200 mm est amortie rapidement pour se limiter à 80 mm au niveau de la dorsale moyenne et 40 mm au sommet de la tête. Ce phénomène est observé pour les deux allures de Sinival et d'une manière plus faible pour le trot de Persival qui est très verticalisé.

Mesures accélérométriques :

La sollicitation générée par le simulateur augmente avec l'allure. On relève des valeurs amplitudes verticales moyennes de 0,7 g sur Sinival et de 1,4 g à 2 g sur Persival respectivement au petit trot ou au grand trot. Inversement, la sollicitation longitudinale de Sinival est plus importante (1,4 g) contre seulement 0,5 g pour Persival au petit trot. Bien que les repères cavalier et cheval ne soient pas liés au cours du mouvement, la comparaison des données accélérométriques montre une augmentation des accélérations ressenties ou générées par le sujet par rapport à la sollicitation. Le signal obtenu par différenciation des valeurs du cavalier et de la machine présente une plus grande complexité dès que l'amplitude de l'allure augmente, témoignant de la

² Angle du bassin : angle fait par la ligne qui joint les épines iliaques antérieure et postérieure et l'horizontale

³ Angle du buste : angle fait par la ligne 10^{ème} cote pointe de l'épaule et la verticale

⁴ Déviation à convexité postérieure de la colonne vertébrale

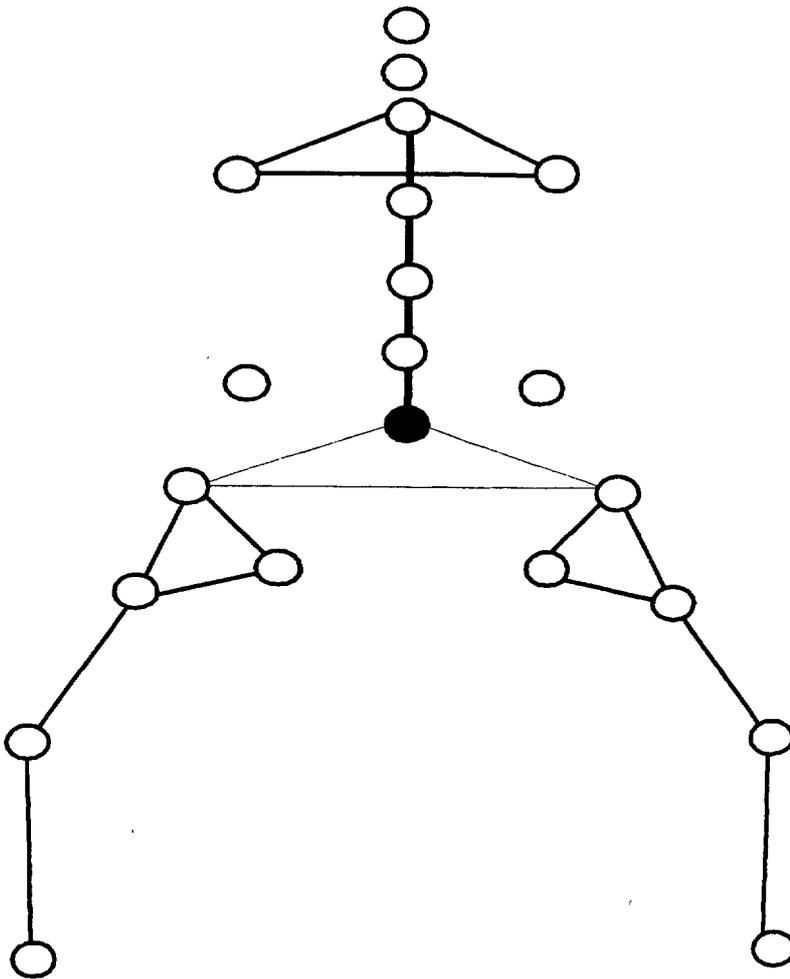


Figure I : Emplacements des marqueurs, Positions of markers

Liste des marqueurs :

1. Tête - Head (1),
2. Menton - Chin (1),
3. Cervicale c7, Cervical (1),
4. Epaule : acromion , Shoulder(2),
5. Dorsale Haut, High dorsal (1),
6. Dorsale Moyenne, Medium Dorsal (1),
7. Charnière dorso-lombaire , Hing between dorsal and lumbar(1),
8. Lombar L1-L2 , lumbar L1-L2 (1),
9. 10^{ème} côte (2), 10th rib,
10. Epine iliaque antérieure, Anterior iliac spine (2),
11. Epine iliaque postérieure, Posterior iliac spine (2),
12. Grand trochanter (2), Trochanter,
13. Genou, Knee (2), ,
14. Cheville, Ankle(2).

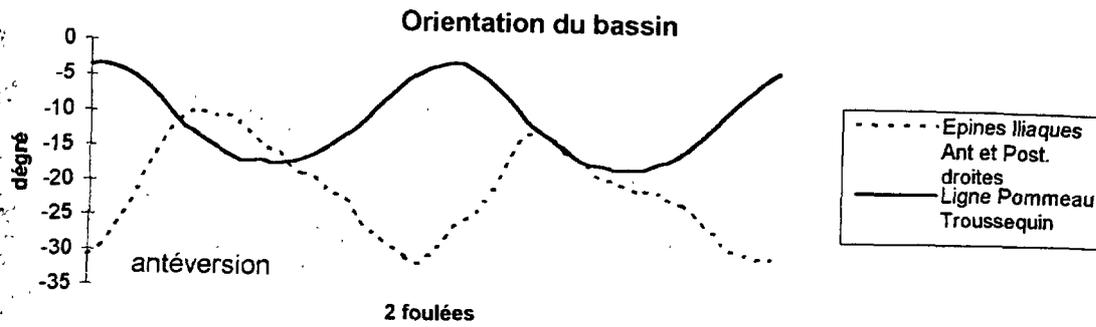


Figure II : mouvement de tangage du bassin du cavalier au galop.

At canter, pitching movement of the rider's pan.

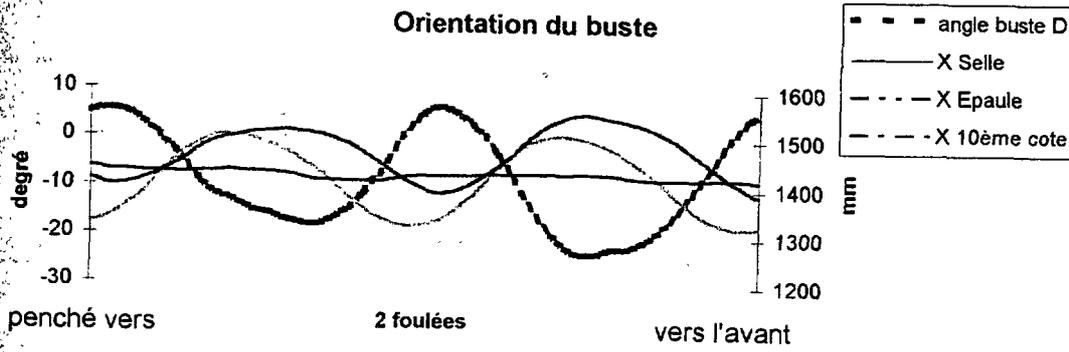


Figure III : allure du galop, mouvement en tangage du buste et déplacements longitudinaux des marqueurs selle, 10^{ème} cote et épaule.

At canter, pitching movement of the rider's bust and longitudinal displacement of saddle's markers, 10th rib and shoulder.

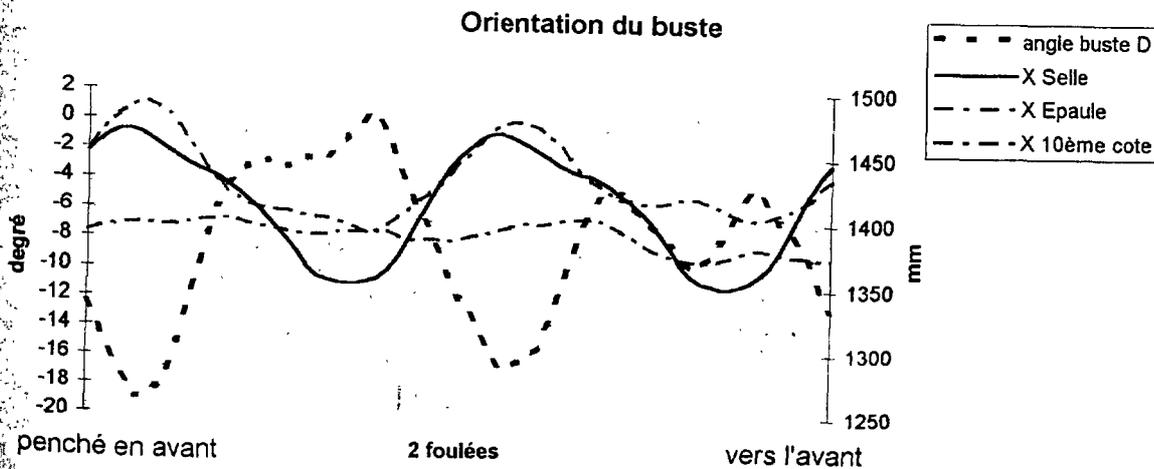


Figure IV : allure du trot, mouvement en tangage du buste et déplacements longitudinaux des marqueurs selle, 10^{ème} cote et épaule.

At trot, pitching movement of the rider's bust and longitudinal displacement of saddle's markers, 10th rib and shoulder.

Figure V : Déplacement vertical de la colonne vertébrale.
 Vertical displacement of the spine.

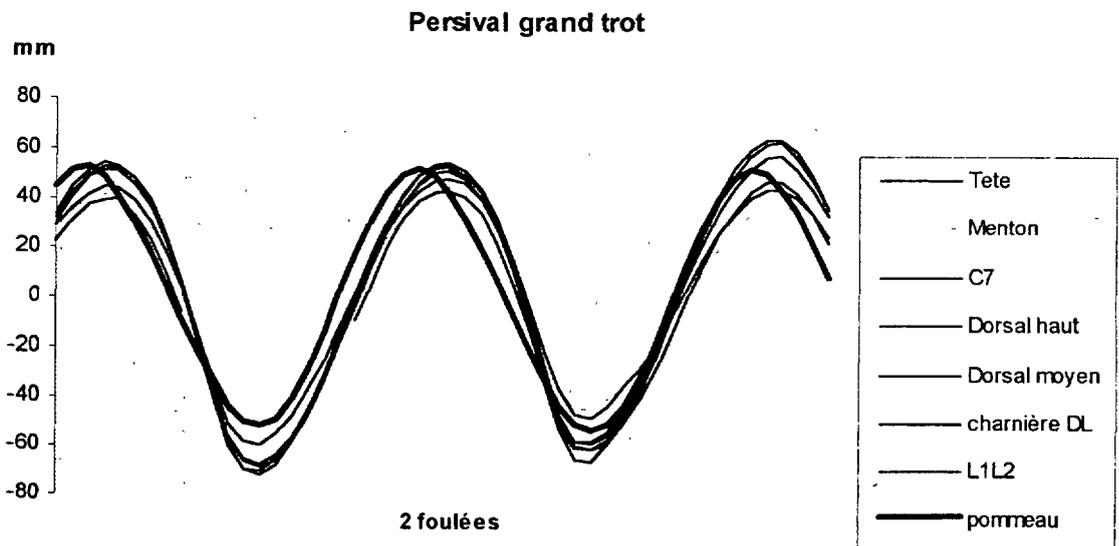
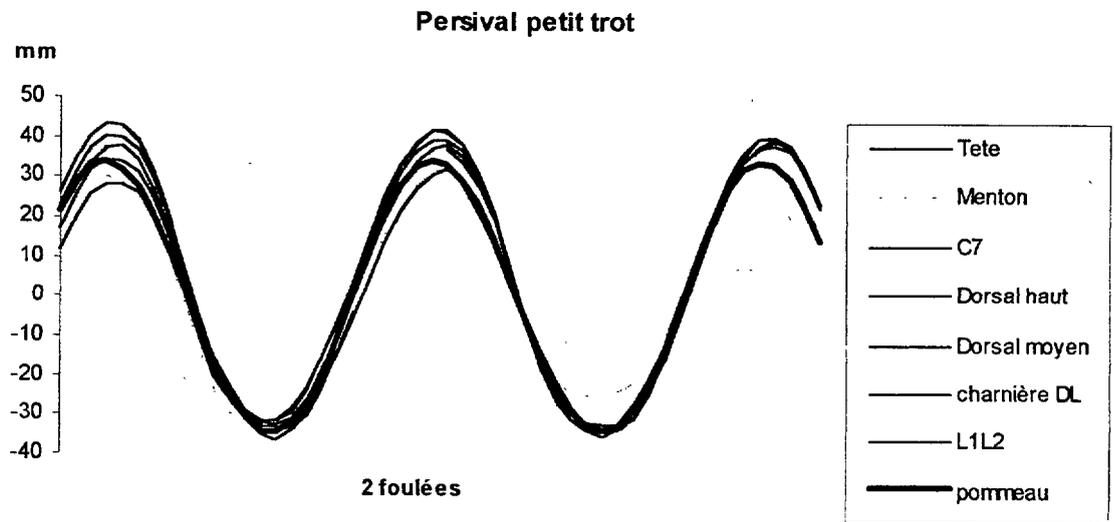
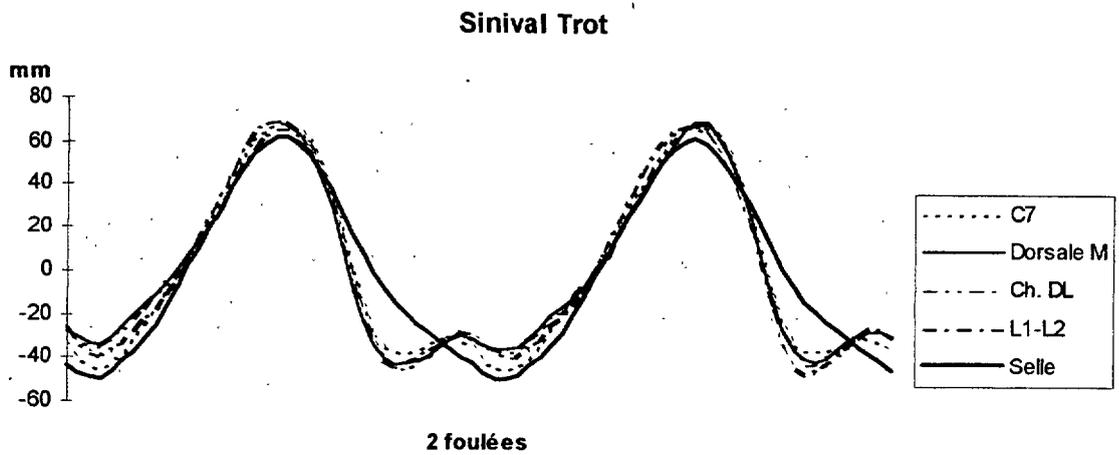
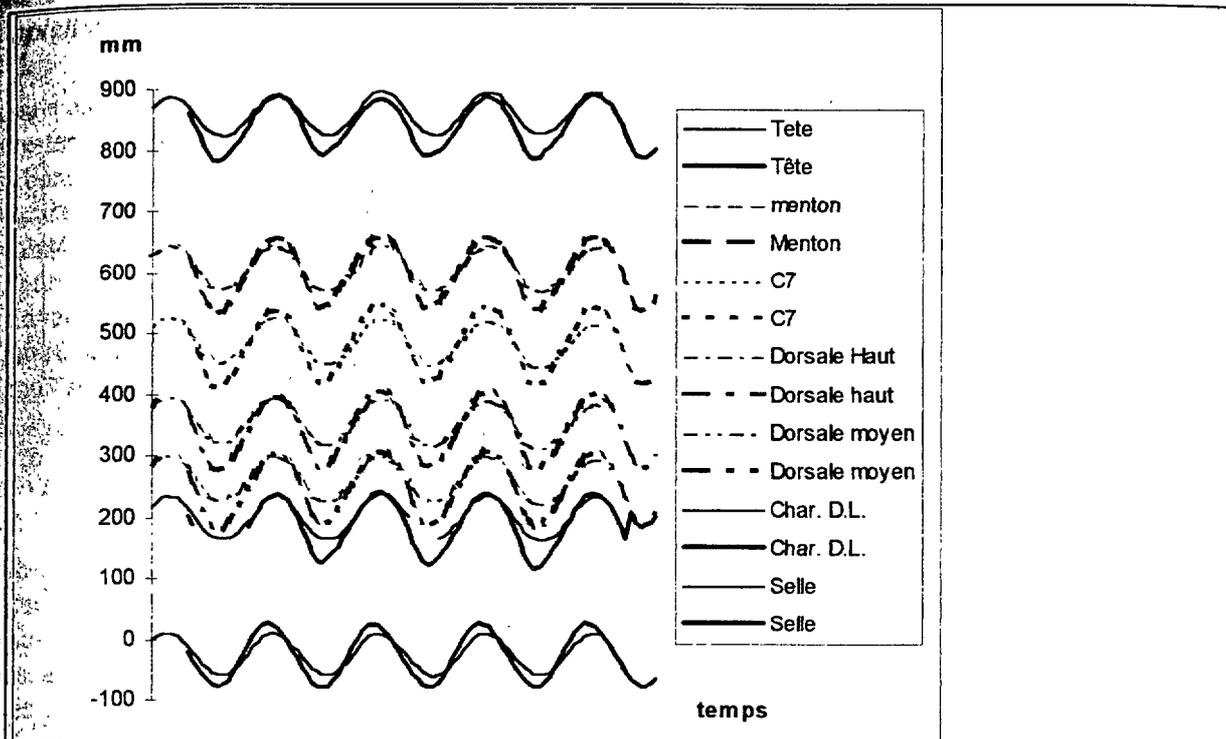
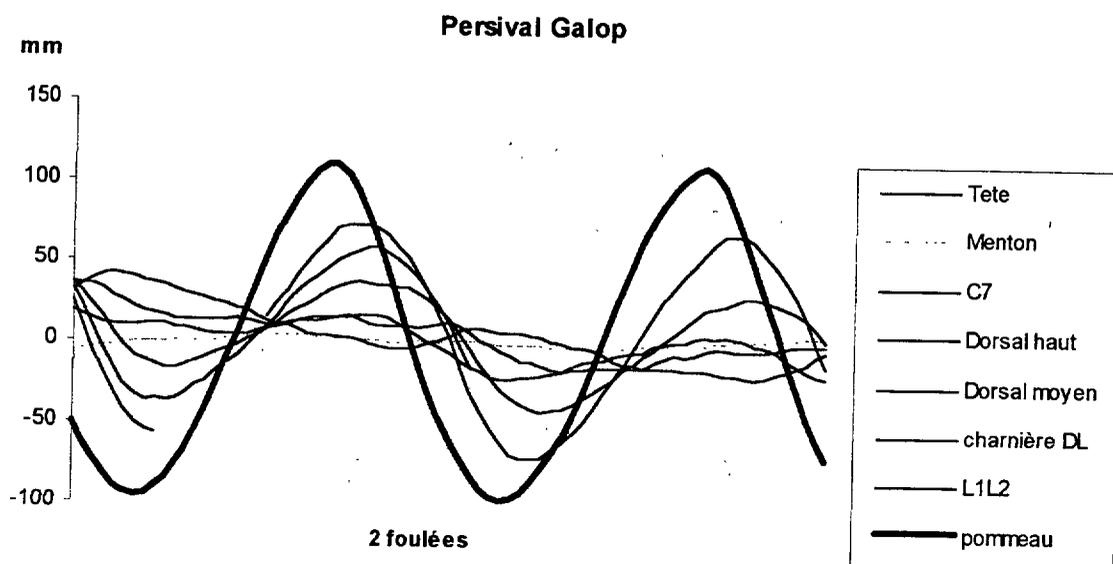
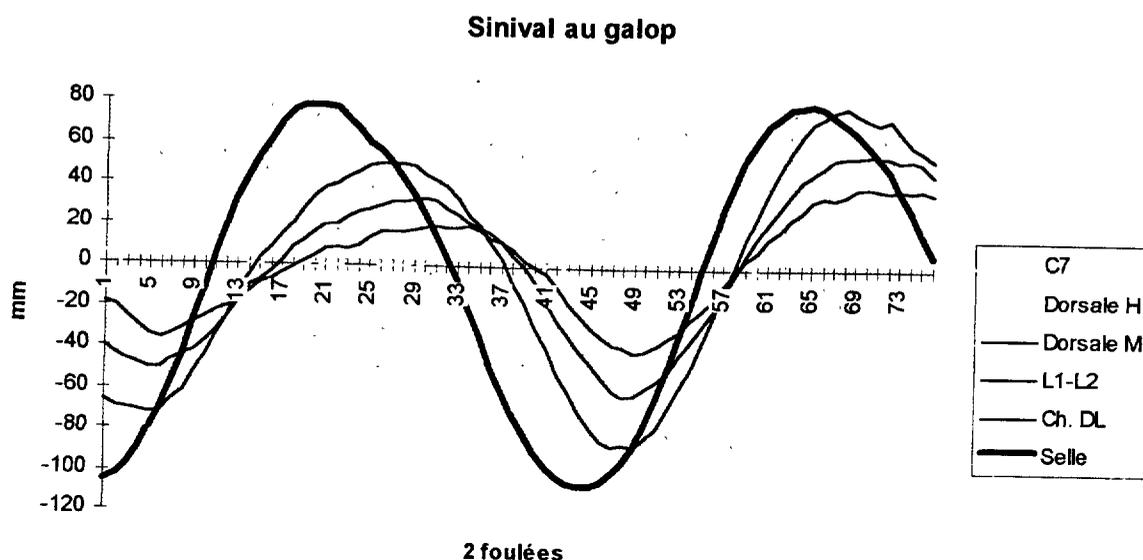


Figure VI : Mouvements verticaux de la colonne vertébrale et de la selle au petit (---) et grand trot (----).

Vertical displacements of the spine and the saddle on weak (---) and severe trot (----).



**Figure VII : Déplacement vertical de la colonne vertébrale,
Vertical displacement of the spine..**



relative difficulté du sujet à rester en phase avec l'allure. La cross corrélation entre les deux signaux et le nombre d'harmonique du signal témoigne de la perte de la qualité d'adaptation du cavalier à l'allure.

Au galop le rapport est inversé, Persival est plus doux dans le sens vertical, 0,6 g contre 0,9 g pour Sinival, et 2,3 g suivant l'axe longitudinal. Comme au trot les valeurs mesurées chez le cavalier sont plus importantes que celles générées par la machine. Elles témoignent de l'activité mise en œuvre par le cavalier pour suivre l'allure au détriment d'un réel amortissement.

Adaptation du cavalier

Depuis quelques années, et en particulier avec l'arrivée des simulateurs équestres, qui a permis à l'instructeur de rester à hauteur de son élève, la fixité de la ceinture scapulaire dans le plan longitudinal est observée chez les bons cavaliers. Dans l'exemple de notre étude, les dessins suivants montrent le faible débattement longitudinal des épaules par rapport au fort déplacement du bassin au trot et plus encore au galop, allure dont les amplitudes sur l'axe longitudinal et en tangage sont importantes. Cette fixité semble nécessaire à une bonne assiette générale et notamment à l'obstacle. Les « vue de dessus » et « vue de profil » permettent de visualiser le travail important de fonctionnement du bassin et de la colonne vertébrale qui permet la relative fixité de la ceinture scapulaire. La tête devant rester fixe, un contrôle correct des mouvements par l'asservissement des canaux semi-circulaires est nécessaire.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Loin encore de qualifier une monte économique ou efficace, cette première étude montre qu'il est possible d'étudier l'attitude du cavalier et son évolution temporelle grâce aux techniques d'analyse d'image et aux mesures accélérométriques. Chaque cavalier présente un mouvement général commun à tous les experts et des constantes qui en font sa signature. Permettant l'observation des mouvements fugitifs, elle devrait contribuer à créer des allures simulées propres à initier les bons gestes. Dépassant la simple analyse descriptive, il est probable que cette approche nous permettra d'affiner le jugement de l'observateur en dépassant la vue statique et figée des dessins et les limites de l'acquisition de l'œil humain.

BIBLIOGRAPHIE

- Auvinet B., (1994). Le rachis du cavalier, *Rumathologie*, 32, 85-94.
- Fouquet B., (1996). Biomécanique du rachis lombaire, *l'Equitation*, 9, 73-80.
- Girard J.F. (1996). Attitudes et fonctionnements du cavalier de dressage, mémoire de maîtrise, Angers, ESTHUA.
- Galloux P., Richard N., Dronka T., Leard M., Jouffroy J.L., Cholet A., (1994). Analyse du mouvement de la selle aux trois allures par une technique accélérométrique, *CEREOPA*, 223-229.
- Galloux P., Jeddi R., Auvinet B., Biau S., Lacouture P., (1997). Adaptation biomécanique du cavalier à cheval, étude préliminaire. *Equation* n°29, 49-49.
- Morelle R., (1983). Analyse qualitative des sollicitations vertébrales chez le cavalier en fonction des variations de son centre de gravité, *Chantilly, Médecine et Sports Equestres*, 178-186.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le concours de l'Ecole nationale d'équitation, du Laboratoire de métallurgie physique (UMR -6630) de l'Université de Poitiers, de l'Association Pégase Mayenne et de l'association Persival.