



**Analyse du mouvement de la selle aux trois allures par une technique accélérométrique (programme PERSIVAL) en vue de sa simulation par une plate-forme à 6 degrés de liberté**

**Program Persival. Analysis of the movement of the saddle using accelerometric technics in order to simulate the three gaits of the horse by 6 degrees-freedom platform**

Par P. Galloux(\*), M. Jimenez,  
N. Richard, T. Dronka(\*\*)  
M. Leard, J.L. Jouffroy, A.  
Chollet

(\*) *Ecole Nationale d'Équitation, BP 207 49411 SAUMUR Cedex (FRANCE).*

(\*\*) *AFASEC/PERSIVAL - Allée de Jardy - 60635 CHANTILLY*

**Résumé**

Dans le but de simuler le mouvement de la selle par une plate-forme à 6 degrés de liberté, les allures de 7 chevaux sont enregistrées par une couronne accélérométrique sur un tapis roulant. Le galop présente les plus grandes amplitudes, donc un fort mouvement de tangage. Au pas et au trot les amplitudes sont plus faibles, le pas se distingue par un plus fort lacet et le trot par plus de roulis et de mouvement longitudinal et latéral.

**Mots-clefs :** Cheval, Biomécanique, Locomotion, Allure, Accélération.

**Summary**

In order to simulate the movement of the saddle thanks, a platform with six degrees of freedom, the seven horses' rhythm is recorded by an accelerometric crown on a treadmill. The gallop showed the highest amplitude with a strong pitching rotation. The walk showed more twisting motions, whereas the trot had more rolling, longitudinal and lateral movement.

**Key-words :** Horse, Biomechanics, Locomotion, Gait, Acceleration.

## INTRODUCTION.

Jusqu'à ce jour, le mouvement des pieds et les chocs sur le sol ont été analysés par différentes techniques : accéléromètre et dynamomètre sur le pied, analyse d'image et plate-forme de force. Par contre, le mouvement de la selle dans l'espace commence à être étudié en utilisant des accéléromètres. L'objet de notre travail est de simuler les allures du cheval sur une plate-forme à six degrés de liberté. Il a été ainsi possible de reproduire sur le simulateur des allures mesurées en utilisant des signaux enregistrés ; l'utilisateur peut alors combiner les allures pour obtenir une séquence de plusieurs exercices comprenant plusieurs allures dont la fréquence, l'amplitude du mouvement des véris et le nombre de foulées peuvent varier.

Pour améliorer le réalisme du mouvement, il est nécessaire d'effectuer de véritables transitions d'allure et de connaître l'évolution réelle du mouvement de la selle en fonction de la vitesse. Le traitement mathématique utilisé permet de connaître le mouvement dans l'espace de la selle. L'objet de cet article est une première approche de la connaissance souhaitée.

## MATERIEL ET METHODES.

7 chevaux marchent plusieurs fois au pas, au trot et au galop pendant une minute sur un tapis roulant. Les vitesses augmentent à chaque série (pas 100-110 m/min, trot 350, 400, 450 m/min et galop 400, 450 et 500 m/min).

Le mouvement de la selle est mesuré par six accéléromètres fixés sur le devant de la selle. Les données sont enregistrées sur un ordinateur. La fréquence d'échantillonnage est de 50Hz, la plage d'amplitude est de 4g, soit 2024 points. Le poser des membres est repéré à partir d'un accéléromètre fixé successivement sur le pied de deux chevaux.

Un logiciel permet le traitement des données décrit par N. Richard : à partir d'une transformée de Fourier, les données sont filtrées puis intégrées deux fois et placées dans un repère terrestre. Dans l'objectif d'une simulation, les constantes d'intégration sont nulles en première approximation.

Le mouvement de la selle est connu sur les trois axes, longitudinal (X), latéral (Y) et vertical (Z) et les rotations autour de ceux-ci : roulis (R) autour de X, tangage (T) autour de Y et lacet autour de Z. Il est lissé par une fonction spline et présenté après interpolation dans un tableau de 300 x 6 points.

Une représentation graphique en 2 dimensions et en 3 dimensions permet de définir la forme générale de chaque allure. Le mouvement de rotation de la selle est présenté sur une animation graphique.

Amplitude du mouvement de la selle au pas.

X	$27.5 \pm 9.4$ mm	R	$0.6 \pm 0.4^\circ$
Y	$21.5 \pm 12.4$ mm	T	$9.8 \pm 3.0^\circ$
Z	$41.7 \pm 8.3$ mm	L	$2.6 \pm 1.5^\circ$

2 fois 7 chevaux sur tapis roulant.

### Allure du trot.

Au trot, la selle vue de dessus se déplace suivant une forme de "papillon" qui rappelle bien les posés diagonaux des membres (fig 1). La vue de face est un "U" dont le sens varie suivant les fochiers. La vue de profil est une ellipse allongée dont la concavité est généralement tournée vers le bas. Dans le tableau 2, on observe un bon équilibre des mouvements sur les trois axes et une prédominance du tangage.

Les deux temps du trot sont clairement visibles, à chaque poser des membres d'un même diagonal, on observe que le mouvement s'accélère rapidement en projetant la selle vers l'avant ; le cavalier est entraîné dans ce mouvement, la selle le fait pencher légèrement vers l'avant au moment du poser et vers l'arrière lorsqu'elle a atteint son point le plus avancé. La selle remonte au moment de la poussée.

Les mouvements de lacet et de roulis sont coordonnés et de faible amplitude, ils présentent deux minima sous l'influence contradictoire des membres d'un même diagonal. La selle penche vers la gauche lorsqu'elle avance vers la gauche à la fin du poser prépondérant du postérieur droit, la selle subissant un léger mouvement de lacet vers la droite.

#### Amplitude du mouvement de la selle au trot

X	$54.4 \pm 15.7$ mm	R	$2.6 \pm 1.05^\circ$
Y	$36.0 \pm 16.4$ mm	T	$9.2 \pm 5.1^\circ$
Z	$36.5 \pm 7.6$ mm	L	$2.1 \pm 1.4^\circ$

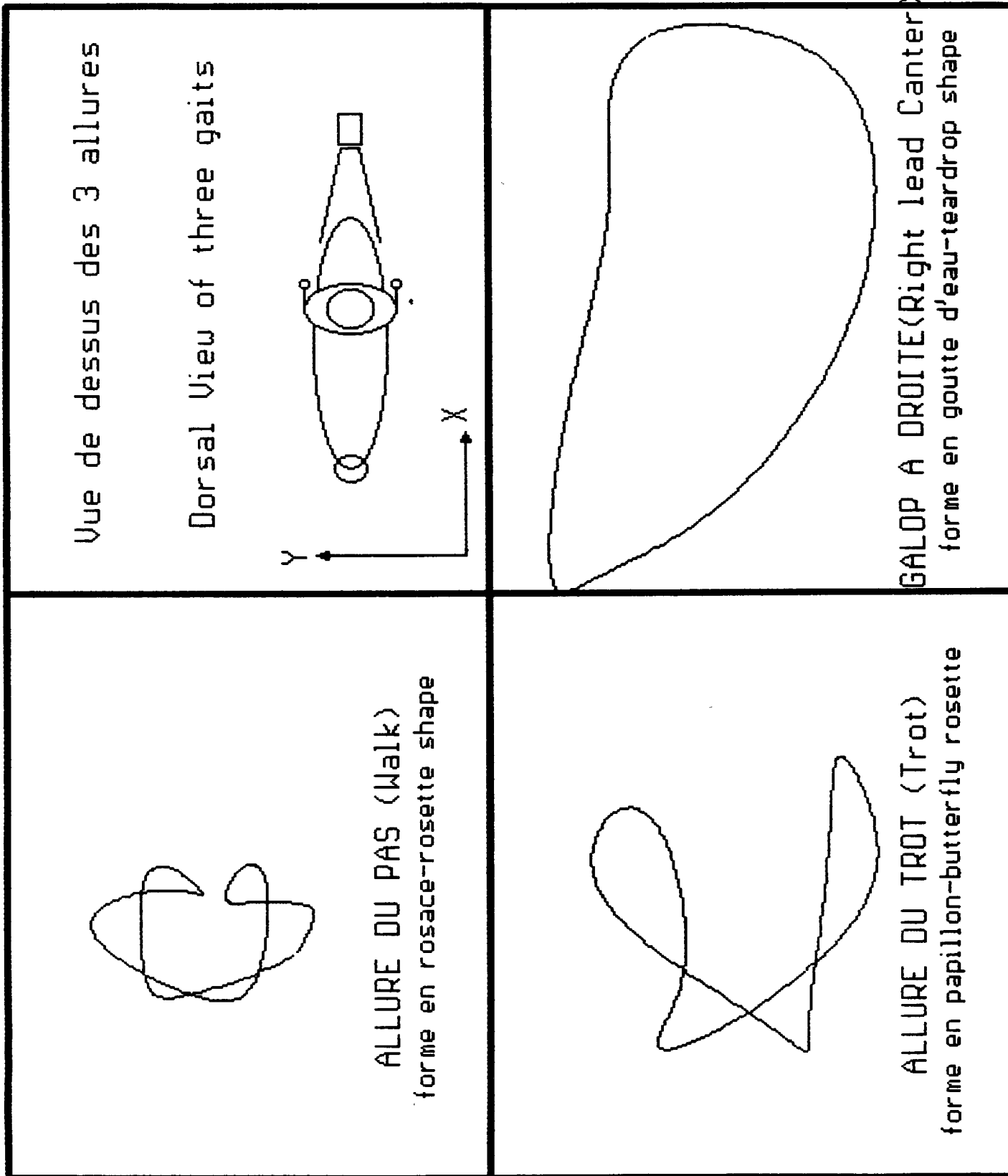
23 mesures sur 7 chevaux sur tapis roulant.

### Allure du galop.

L'allure du galop est moins complexe. La vue de dessus est une large ellipse qui s'élargit du côté du pied sur lequel le cheval galope, la vue de profil est une large boucle, tandis que, de face, le cheval suit une forme de "J". L'ensemble des chevaux présente globalement les mêmes courbes mais on constate dans les moindres détails pour chaque cheval, une très bonne conservation du mouvement lorsque la vitesse varie. Lorsque le cheval galope à droite puis à gauche, les courbes sont assez différentes pour ne pas présenter de symétrie évidente.

Le cavalier se redresse lorsque la selle est en avant et vers le bas, il subit facilement le mouvement de relèvement obtenu en fin de 3ème temps. Inversement, lors du poser du postérieur au 1er temps le mouvement de tangage est positif vers le bas, le mouvement de la selle s'infléchit également brutalement vers le bas. Lorsque la selle est en avant, le buste du cavalier est alors tourné du côté du pied sur lequel le cheval galope ; le lacet est négatif et de moindre amplitude au point diamétralement opposé. La selle entraîne en roulis le cavalier du côté du pied sur lequel le cheval galope au moment du 2ème temps, redressé au 3ème temps le cavalier est à peu près droit au planer.

Figure I : Vue de dessus du déplacement de la selle aux trois allures



Dans le tableau 3, on note l'importance du mouvement en X et en Z ainsi que celui de tangage.

Amplitude du mouvement de la selle au galop

X	$104.3 \pm 19.5$ mm	R	$3.2 \pm 0.9^\circ$
Y	$38.7 \pm 15.3$ mm	T	$11.4 \pm 3.1^\circ$
Z	$80.4 \pm 13.4$ mm	L	$1.5 \pm 0.6^\circ$

19 mesures sur 7 chevaux au galop

A part le mouvement de lacet, le galop est l'allure qui présente le plus grand débattement, en particulier sur l'axe vertical et sur l'axe horizontal. Le mouvement de tangage est le plus important pour les trois allures, par rapport aux autres rotations qui gardent des valeurs faibles. Au pas, le mouvement de lacet est supérieur par rapport aux autres allures.

## DISCUSSION

Globalement, on retrouve pour chaque allure les symétries et la décomposition habituelle de l'allure en temps. Les axes prépondérants pour chaque allure apparaissent également, comme le tangage au galop, le lacet au pas et le roulis au trot. Une légère discordance peut apparaître sur certaines figures par rapport aux sensations du cavalier, car celui-ci ressent plus les accélérations que le véritable mouvement de la selle. Alors que l'amplitude verticale au trot est plus faible, le mouvement vers le haut est mieux perçu au trot qu'au galop car alors il a lieu deux fois par foulée.

L'animation graphique dont nous disposons permet de suivre pas à pas le mouvement de la selle. Un premier placement du poser des membres permet de situer chaque séquence de l'allure. En parallèle avec le simulateur, qui peut également décomposer l'allure, il est ainsi possible de faire analyser par l'élève son mouvement, détecter les anticipations ou les exagérations qu'il peut faire prendre à son corps.

Toutefois, il est important de ne pas écarter les accélérations subies, illustrées sur le graphique par un espacement des points plus important, car elles sont la cause directe des sensations perçues par le cavalier.

## CONCLUSION

Cette première approche qui confirme l'expérience des cavaliers doit être approfondie par des mesures plus fiables du poser des membres et par l'étude des variations entre les chevaux. Une étude qualitative pourra alors commencer pour évaluer les effets du sol, de la pente et de la vitesse, des irrégularités de l'allure et l'influence du cavalier.

Enfin il ne faut pas oublier que cette analyse descriptive permet de situer le mouvement de la selle mais elle ne permet pas de reconstituer le mouvement perçu par le cavalier qui a besoin des accélérations subies pour obtenir de bonnes sensations.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons Alfort pour son accueil et pour le prêt de son tapis roulant.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdallah A.(1985) : Quelques réflexions sur des signaux émis par des accéléromètres équipant deux chevaux par l'intermédiaire de la selle. Proc. E.N S.M., Nantes, Juillet 1985.

Barrey E. (1990) Investigation of the vertical hoof force distribution in the equine forelimb with an instrumental horseboot, Equine Vet. J., 9,35-38.

Barrey E., Galloux P., Valette J.P., Auvinet B. et Wolter R.(1991) Stride characteristics of overground versus treadmill locomotion in saddle horses. First Workshop an animal locomotion (FIWAL), Utrecht, 20-22/06191.

Barrey E., Galloux P., J.P. Valette, Relationships between accelerometric and kinematic measurements in a running horse, Proc. I.S.B., Paris 04-08/07/93, 148-149.

Barrey E., Evaluation of gait quality in Warmblood horses, Supplement Equine Vet.J. 1994.

Denoix J.M.(1991) Approche mécanique des allures et du saut chez le cheval. Sci. Sports, 6,117-124.

Dronka T. et Valat B.(1989) Contribution à l'étude accélérométrique du cheval. thèse, Maisons Alfort.

Dronka T., Galloux P., Richard N. et Jouffroy J.L.(1993) Introductory for an accelerometrical study of horse gaits. Proc. I.S.B., 1993 Paris , 04-08/07/93, 354-355.

Galloux P., N Richard, S Legrand, M Leard, J.L. Jouffroy, Analysis of equine gait using three-dimensional accelerometers fixed on the saddle, Supplement Esuine Vet.J. 1994.2

Richard N, Galloux P, Leard M et Jouffroy J.L.(1991) PERSIVAL, from measurement to horse simulation. First Workshop an animal locomotion (FIWAL). Utrecht, 20-22/06/91.

Richard N., Leard M, Galloux P. et Jouffroy J.L.(1992) Persival, étude et réalisation d'un simulateur équestre. I.S.A., Montréal , Juin 1992.

Richard N. (1993) Etude et modélisation des allures équestres, application à la commande d'un simulateur équestre, Thèse, 1993 Poitiers

Richard N., Leard, Galloux P. et Jouffroy J.L.(1993) Etude des signaux accélérométriques issus du mouvement de chevaux I.A.S.I.E.D.. Innsbrück, février 1993.

Brevet n°89-08-050, Procédés d'analyses et de déplacement d'un cheval, France, extended Europe, USA, Japan, France 10 juin 1987.

Brevet n°89-07-641, Dispositif de prise de mesures de divers éléments constitutifs d'un mobile, extended Europe, USA, Japan, France 9 juin 1989.