

étude de la locomotion par accélérométrie

LES MOUVEMENTS DE LA SELLE AUX TROIS ALLURES : application à la reproduction des allures par le simulateur Persival

Dans le but de simuler le mouvement de la selle par un robot capable de s'animer dans toutes les directions, les allures de 7 chevaux sont enregistrées par une couronne accélérométrique sur un tapis roulant.

Le galop présente les plus grandes amplitudes avec 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 mouvements longitudinaux et latéraux.

A ce jour le mouvement des membres et les chocs des pieds sur le sol ont été analysés par différentes techniques: accéléromètre et dynamomètre sur le pied, analyse d'image et plate-forme de force. Le mouvement de la selle dans l'espace est étudié en utilisant des accéléromètres. L'objet du programme Persival est de simuler les allures du cheval sur une plate-forme animée dans toutes les directions (six degrés de liberté) par des vérins hydrauliques. A partir des enregistrements des allures des chevaux, il a été possible de les reproduire sur le simulateur des allures ; l'utilisateur de l'appareil peut réaliser une séquence d'exercices comprenant plusieurs allures dont on peut régler la fréquence, l'amplitude des mouvements et le nombre de foulées.

L'objectif de cette étude était d'analyser toutes les composantes du mouvement de la selle de chevaux qui se déplaçaient aux trois allures sur un tapis roulant. Les données enregistrées et traitées servent ensuite à piloter le simulateur des allures.

MATERIEL ET METHODES

Les mesures ont été réalisées sur 7 chevaux qui se déplaçaient plusieurs fois au pas, au trot et au galop pendant une minute sur un tapis roulant. Les vitesses de chaque allure augmentaient à chaque série (pas 100-110 m/min,

P. Galloux, M. Jinenez, N. Richard, T. Dronka,
M. Leard, J.L. Jouffroy, A. Chollet.
Ecole Nationale d'Equitation, B207 Saumur (France).

trot 350, 400, 450 m/min et galop 400, 450 et 500 m/min).

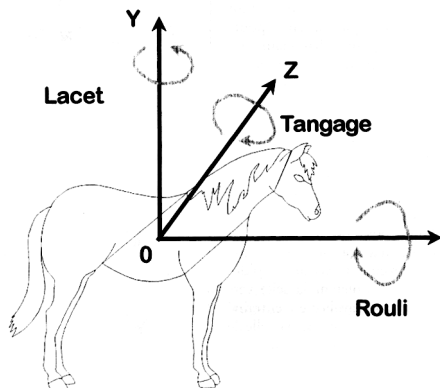
Tous les mouvements de la selle étaient mesurés par six accéléromètres fixés sur le devant de la selle. Les données étaient enregistrées sur un ordinateur à une fréquence d'échantillonnage de 50Hz. Le poser des membres était également enregistré au moyen d'accéléromètres fixés sur les sabots.

Un logiciel permet de calculer le déplacement à partir des données d'accélération. Le traitement des données consiste à les filtrer par une transformée de Fourier, puis pour obtenir les déplacements dans l'espace, les **accélération**s sont intégrées successivement deux fois **rapport au temps** (Richard et al. 1991). Les déplacements de la selle sont finalement lissés par **spline** pour dessiner une trajectoire.

Le mouvement de translation de la selle est ainsi **déterminé** sur les trois axes du cheval: longitudinal (X), latéral (Y) et vertical (Z) (Figure 1). Pour décrire tous les mouvements possibles, il faut également 3 rotations autour des axes X, Y et Z: le roulis (R) autour de X, le tangage (T) autour de Y et le lacet (L) autour de Z (figure 1).

Une représentation graphique en 2 dimensions montre les trajectoires de la selle à chaque allure. Le mouvement de rotation de la selle est présenté sur une animation graphique.

Figure 1 : Définition des axes de déplacement et des rotations autour des axes.



Définitions des axes et des rotations

RESULTATS

Allure du pas.

Au pas, vue de dessus (figure 2) ou de face, la selle décrit une sorte de "U" à 4 boucles, pouvant aboutir chez certains chevaux à une rosace. La vue de profil décrit une trajectoire en forme de "goutte d'eau" (figure 2). Les amplitudes verticales et longitudinales sont les plus

grandes (tableau 1). Le tangage est la plus grande rotation. Les posers des pieds sont répartis dans les 4 boudes.

Les accélérations suivent avec un certain retard le poser des membres antérieurs, ceux-ci n'exerçant réellement leur action qu'en fin de poussée. La selle est penchée vers l'arrière au moment du poser des postérieurs et bascule légèrement en

Tableau 1 : Amplitudes des mouvements et rotations de la selle au PAS.

Longitudinal	27.5 ± 9.4 mm	Rouli	0.6 ± 0.4°
Latéral	21.5 ± 12.4 mm	Tangage	9.8 ± 3.0°
Vertical	41.7 ± 8.3 mm	Lacet	2.6 ± 1.5°

N= 2 fois 7 chevaux sur tapis roulant.

avant au moment du poser des antérieur.

Allure du trot

Au trot la selle vue de dessus se déplace en suivant une trajectoire ayant la forme d'un "papillon" qui est en rapport avec les posers diagonaux des membres (figure 3 et tableau 2). La vue de profil est une ellipse allongée orientée vers le bas. Dans le tableau 2, on observe un bon équilibre de l'amplitude des mouvements sur les trois axes et une prédominance du tangage. Les deux temps du trot sont nettement visibles. A 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 basculer 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 faibles amplitudes.

Allure du galop

Les trajectoires de la selle au galop sont moins complexe qu'au trot (figure 4 et tableau 3). La vue de dessus est une large ellipse qui s'élargit du côté du pied sut lequel le cheval galope. La vue de profil est une large boucle, tandis que de face la trajectoire suit une forme de "J".

L'ensemble des chevaux présente globalement les mêmes types de trajectoires. Lorsque la vitesse varie, on constate une très bonne conservation du mouvement. Lorsque le cheval

Figure 2 : trajectoires décrites par la selle au pas.

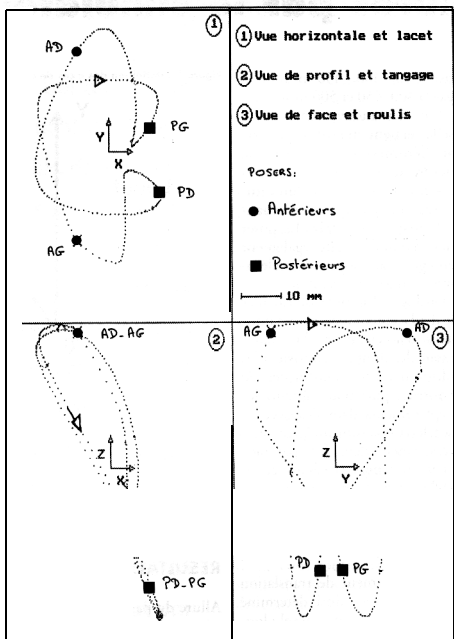


Tableau 2 : Amplitude du mouvement de la selle au TROT.

Longitudinal	54.4 ±15.7 mm	Rouli	2.6 ±1.05°
Latéral	36.0 ±16.4 mm	Tangage	9.2 ±5.1°
Vertical	36.5 ±7.6 mm	Lacet	2.1 ±1.4°

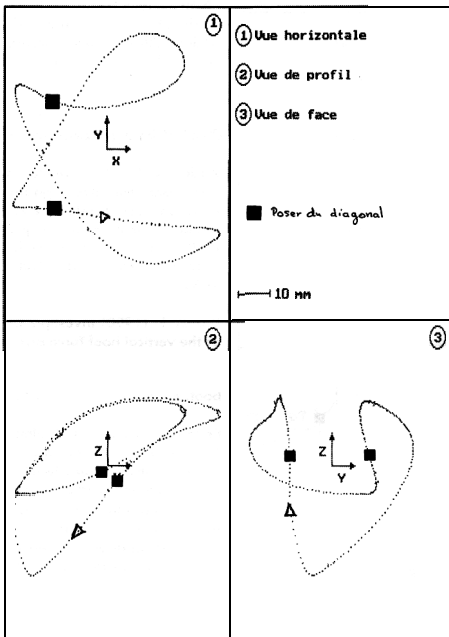
N= 23 mesures sur 7 chevaux sur tapis roulant.

Tableau 3 : Amplitude du mouvement de la selle au GALOP.

Longitudinal	104.3 ±19.5 mm	Rouli	3.2 ±0.9°
Latéral	38.7 ±15.3 mm	Tangage	11.4 ±3.1°
Vertical	80.4 ±13.4 mm	Lacet	1.5 ±0.6°

N=19 mesures sur 7 chevaux au galop.

Figure 3 : trajectoires décrites par la selle au trot.



galope sur le pied droit puis gauche les courbes ne présentent pas de symétrie évidente.

Dans le tableau 3 on note la grande amplitude des mouvements longitudinaux et verticaux ainsi que le tangage. A part le mouvement de lacet, le galop est l'allure qui présente les mouvements de selle de plus grandes amplitudes, en particulier sur l'axe vertical et sur l'axe horizontal.

DISCUSSION

Comparaisons de allures

Globalement, on retrouve pour chaque allure les symétries et la décomposition habituelle de l'allure selon les temps d'appui des membres. Les mouvements prépondérants de chaque allure apparaissent comme le tangage au galop, le lacet au pas et le roulis au trot. Le mouve-

ment 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.

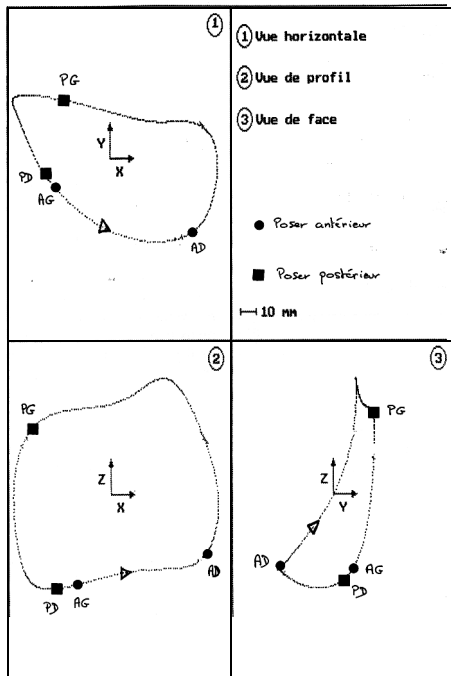
Mouvements et sensations

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. Bien que l'amplitude verticale au trot soit plus faible qu'au galop, le mouvement ascendant est mieux perçu au trot qu'au galop car il y a alors une accélération vers le haut deux fois par foulée. Pour connaître l'importance de la sensation perçue par le cavalier, on peut visualiser l'importance des accélérations qui sont illustrées sur les graphiques des trajectoires, par l'espacement entre les points.

Application pédagogique

Les mouvements de la selle ainsi analysés peuvent être visualisés et ressentis par l'élève. Une animation graphique sur micro-ordinateur a été programmée pour visualiser au ralenti les mouvements de la selle. Le marquage sur la trajectoire de la selle du poser des membres permet de situer le mouvement par rapport au cycle locomoteur de l'allure. En parallèle, l'élève monté sur le simulateur qui fonctionne au ralenti, peut décomposer son mouvement, détecter l'anticipation ou l'exagération de ces gestes.

Figure 4 : trajectoires décrites par la selle au galop.



Cette première approche expérimentale de quantification du mouvement de la selle qui est en accord avec 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. Il ne faut pas oublier que cette analyse décrit précisément

le mouvement de la selle mais elle ne permet pas de reconstituer la perception du 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 l'I.N.R.A. pour le prêt de son tapis roulant.

Bibliographie

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, 20-22/06/91.

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

Denois 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 on 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 Equine Vet.J. 1994.

Richard N, Galloux P, Leard M et Jouffroy J.L(1991) PERSIVAL, from measurement to

horse simulation. First Workshop on 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.T.E.D., Innsbrück, février 1993.

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

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