



Imagerie tridimensionnelle des allures du cheval Tridimensional imaging of the gaits of the horse

Par C. Degueurce*
P. Pourcelot*,
G. Dietrich** et
J. M. Denoix*

* U.A. Biomécanique du Cheval - Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort - 7, Av. du Gal de Gaulle - 94704 Maisons-Alfort Cedex -

** Lab. de Neurophysiologie - INSEP - 1 1, Av. du Tremblay - 75012 Paris

Résumé

La cinématique est un moyen privilégié d'étude des allures du cheval. Elle apporte des informations qualitatives et quantitatives sur la locomotion équine, à l'utilisateur comme au clinicien. Cette communication décrit les caractéristiques d'un nouveau système de cinématique tridimensionnelle adapté à l'étude du cheval placé dans les conditions très diverses de son utilisation. Les principales possibilités d'analyse sont présentées. Son développement sur le site de l'Ecole nationale vétérinaire d'Alfort permettra l'étude approfondie de paramètres sémiologiques actuellement sous-exploités par les tests classiques.

Mots-clés: Cheval - Cinématique - Locomotion - Allure

Summary

Kinematics is an interesting method for studying the horse gaits. It gives qualitative and quantitative informations important for horse users and clinicians. This study describes the characteristics of a new three dimensional kinematic gait analysis system which works in any condition of horse activities. The main analysis procedures are described. This system was developed at the National Veterinary School of Alfort in order to improve the accuracy of semiologic tests during lameness examination.

Key-words: Horse - Kinematics - Locomotion - Gait

Le diagnostic et le traitement des boiteries du cheval sont des préoccupations très anciennes des vétérinaires et qui demeurent un domaine privilégié d'investigation en médecine vétérinaire. Les premiers vétérinaires du XVIIIème siècle tentèrent de comprendre ce phénomène, et des querelles opposeront ces hippiatres pendant toute la durée du XIXème siècle. Une des principales divergences de point de vue était née de l'absence de distinction entre les boiteries d'appui et de soutien. Le clinicien s'appuie sur l'observation de points caractéristiques du corps tels que la tête, les boulets et les pointes des hanches. Par exemple, une violente opposition devait se déclarer entre ceux qui pensaient que la tête s'élevait lors du poser du membre lésé et ceux qui observait cette brutale élévation au lever du membre. De même, la connaissance des patrons locomoteurs est assez récente. Il n'est que d'observer les peintures représentant les courses anglaises du XIXème siècle pour comprendre à quel point les connaissances en locomotion équine étaient réduites.

Ces carences avaient leur origine principale dans l'incapacité à observer correctement des phénomènes dont la fréquence propre était trop élevée pour l'oeil humain. Le temps de fixation de la rétine étant de 100 ms, les événements observables par notre simple appareil oculaire doivent avoir une fréquence maximale de 5 Hz. Afin de pallier cette limite physiologique, des expérimentateurs ont cherché à préciser ces connaissances en mettant au point des appareillages souvent très astucieux. Goiffon et Vincent (1779) déterminèrent un certain nombre de patrons locomoteurs en plaçant des clochettes de sonorités différentes sur les sabots ; certaines de leurs conclusions n'étaient pas exactes et les allures du cheval furent encore précisées par des auteurs tels que Lenoble du Teil (1877) et Goubaux et Barrier (1884).

Un pas décisif fut fait avec les travaux du français Marey (1873) et de l'américain Muybridge (1877). Ces deux chercheurs devaient définir exactement les allures du cheval et réaliser les premières études cinématiques en utilisant la très récente technique photographique.

La cinématique n'a depuis cessé de se développer et elle génère actuellement un engouement certain tant dans les domaines de la biomécanique humaine que de la biomécanique équine.

L'objet de cette présentation est de montrer un système cinématique original développé sur le site de l'Ecole nationale vétérinaire d'Alfort. Il doit permettre de mieux documenter les boiteries du cheval en apportant des données tridimensionnelles (3D) tant qualitatives que quantitatives au clinicien. A cette fin, une attention particulière a été prêtée à ce que le système soit déplaçable.

Matériels et Méthodes

Principe

La méthode repose sur la Direct Linear Transformation (Abdel-Aziz et Karara, 1971) qui permet la reconstruction tridimensionnelle d'un objet à partir d'au moins deux de ses projections bidimensionnelles (2D). Le cheval est donc filmé de façon à ce que chacun de ses points soit vu par au moins deux caméras. L'espace est calibré au moyen d'un maillage portant des points dont les coordonnées 3D sont connues. Il est alors possible de connaître les coordonnées de tout point de l'espace compris à l'intérieur de cette structure, et par conséquent les coordonnées de tout point d'un cheval se déplaçant dans ce volume.

Aire d'enregistrement

Un couloir de passage du cheval est défini par un tapis caoutchouté de 1m sur 20m. Quatre plates-formes de 1m50 de haut sont disposées autour de la piste. Quatre caméras vidéo 8 mm (Sony FX 700) montées sur des pieds sont placées dessus. Les objectifs des quatre caméras sont réglés de façon à pouvoir filmer 5 m de la piste. Des projecteurs (4 fois 500 watts) sont disposés autour de chaque objectif. Deux repères spatiaux sont placés sur la piste.

Préparation du cheval

Chaque cheval est habitué à la piste. Un opérateur place le cheval d'aplomb et des marqueurs passifs hémisphériques (Scotchlite 7610, 3M) sont disposés aux extrémités des rayons osseux des membres. Les autofocus sont ajustés sur le centre du champ d'observation.

Procédures d'enregistrement

Le cheval est amené sur la piste. Le même opérateur réalise tous les tests. Le cheval réalise plusieurs passages au pas et au trot. La synchronisation des quatre caméras est réalisée par l'allumage d'une ampoule de 100 watts. A la fin des tests, une structure de calibration de 5 x 2 x 1 m est amenée sur l'aire d'enregistrement et filmée par les quatre caméras.

Analyse des films

Chaque film est transposé au format U-Matic, pour permettre l'analyse à 50 Hz, et est ensuite digitalisé image par image par une carte de résolution 768 x 512 pixels en 256 niveaux de gris. Les positions des marqueurs des cinq premières images sont pointées manuellement. Le programme SUIVI vient ensuite extraire automatiquement les contours des marqueurs après seuillage de l'image et calcule les coordonnées décimales des centres de gravité des marqueurs. Les fichiers 2D de la structure de calibration permettent de calibrer l'espace. Les quatre fichiers du cheval sont ensuite convertis en 3D. Ces fichiers sont visualisés au moyen du programme d'analyse cinématique VD.

Résultats et discussion

L'intérêt de la reconstruction 3D réside dans la correction des erreurs de parallaxe et de non-linéarité des caméras. En effet, les déformations sphériques dues aux optiques des caméras vidéo limitent beaucoup l'interprétation des mouvements du cheval aux limites du champ d'observation.

La sensibilité du système a été mesurée par un test simple consistant à évaluer la conservation des distances sur un objet indéformable soumis aux mêmes mouvements que les marqueurs disposés sur le sujet. Pour le cheval, les mouvements à étudier sont les translations selon X, Y et Z ainsi que la rotation autour de Y. L'aire d'enregistrement est disposée comme décrit précédemment. Un opérateur tenant un bâton aux extrémités duquel sont placés des marqueurs se déplace selon les trois axes et réalise une rotation autour de Y. L'enregistrement se fait par deux caméras et le fichier 3D est reconstitué. On réalise alors la mesure pour chaque image de la longueur du bâton. Les résultats obtenus sont décrits dans le tableau I.

L'écart-type sur ces mesures est de l'ordre de 2 mm. Le meilleur résultat est observé pour la translation selon Y, ce qui montre la qualité de la DLT pour la reconstruction 3D. Le calcul décimal des coordonnées du centre de gravité des marqueurs est déterminant puisque l'écart-type observé est inférieur à la taille du pixel. L'indice de performance du système, défini comme le rapport entre le champ d'observation et l'écart-type de l'erreur de la méthode, est de 1 500 pour des marqueurs de 1% du champ distants de 20% de ce champ.

L'analyse des fichiers 3D est réalisée en plusieurs étapes.

Il est possible de représenter le cheval dans son ensemble par un "stick diagram", c'est-à-dire un modèle créé par la jonction des marqueurs entre eux. Ces "stick diagrams" sont ensuite animés en vitesse réelle (intervalles de 20 ms), ce qui permet l'observation directe de la locomotion. La figure I représente une foulée de pas d'un cheval.

Cette animation peut se faire, comme précédemment, en 2D ou en 3D. L'observateur se place alors dans un volume en choisissant sa position par rapport à la piste et la direction de son regard. Il est ainsi possible de visualiser le cheval de dessus et d'observer les mouvements d'abduction et d'adduction des marqueurs.

Ces stick diagrams fournissent des informations générales sur la locomotion du cheval mais il est nécessaire de faire appel à des fonctions plus précises pour extraire des données quantifiées. Le premier de ces outils permet l'observation des trajectoires des marqueurs. Ces trajectoires peuvent être situées dans les plans X-Z (vue latérale) et X-Y (vue dorsoventrale). La position du marqueur étudié est alors accessible à chaque instant par la souris. La figure II représente la trajectoire du carpe au pas.

L'analyse du mouvement peut être encore affinée en décomposant le mouvement selon les trois axes. On obtient alors un décours temporel du type X, Y ou $Z = f(t)$. Les figures III et IV représentent les décours horizontal et vertical du carpe au pas.

Enfin, les angles articulaires sont accessibles ; on obtient une courbe du type $Q = f(t)$ représentant le comportement articulaire tout au long de la foulée et permettant la mesure des amplitudes articulaires à chaque instant. La figure V représente le décours angulaire de l'angle dorsal du jarret au pas.

L'ensemble de ces données peut être lissé, dérivé et subir les traitements mathématiques classiques.

L'utilisation de quatre caméras permet la documentation de points corporels symétriques. La comparaison de leurs comportements est un moyen efficace de détecter des asymétries. Chaque cheval devient ainsi son propre référentiel, sans qu'il soit nécessaire de se référer à des courbes-type difficiles à déterminer tant les allures diffèrent d'un cheval à l'autre.

Une étude préliminaire portant sur deux chevaux présumés sains a montré la capacité du système à détecter des différences faibles entre les deux bipèdes latéraux.

CONCLUSION

Le cahier des charges de ce système a été défini pour permettre son utilisation dans les conditions de la clinique. Il allie une bonne fiabilité à une grande mobilité. Il est adaptable à la plupart des conditions d'utilisation du cheval et permet l'évaluation des trajectoires des articulations ainsi que de leurs mouvements articulaires. L'intérêt majeur de la méthode réside donc dans la possibilité de comparer tous les paramètres cinématiques d'un côté à l'autre. Les premiers essais réalisés sur deux chevaux sains ont montré l'apport que peut présenter la cinématique pour la sémiologie des boiteries. Ce système est maintenant fonctionnel et va être utilisé en routine sur le site de l'Ecole nationale vétérinaire d'Alfort.

Mouvement <i>Type of motion</i>	Nombre d'images <i>Frame number</i>	Moyenne (cm) <i>Mean</i>	Ecart-type (cm) <i>Standard dev.</i>
Translation selon X	204	60,9	0,23
Translation selon Y	257	60,7	0,09
Translation selon Z	134	61,0	0,27
Rotation selon Y	93	60,8	0,21

Tableau 1: Résultats du test de sensibilité

BIBLIOGRAPHIE

Clayton, H.M. (1986) Cinematographic analysis of the gait of lame horses. *J.Equine Vet. Sci.* 6, 70-78.

Degueurce, C, Denoix, J.M. et Geiger, D. (1992) Mise au point d'un protocole d'études cinématiques du trot chez le cheval sain. CR XVIIème Congrès de la Société de Biomécanique. Toulouse.

Degueurce, C., Denoix, J.M. et Geiger, D. (1993) Protocole pour l'étude cinématographique du trot chez le cheval: limites et perspectives. CR de la 19ème journée de la Recherche Chevaline. CEREOPA. Paris.

Degueurce, C., Pourcelot, P., Dietrich, G. et Denoix, J.M. (1993) Kinematic study of the stride of a sound horse trotting at 3 m/s. Proc. XIVth Congress of the International Society of Biomechanics. pp 322-324. Paris.

Degueurce, C., Denoix, J.M., Dietrich, G., Pourcelot, P., et Geiger, D. (1993) Kinematic study of the stride of soundhorses trotting at 3 m/s in the conditions of the standard lameness examination. Proc. Congrès de Médecine et Chirurgie Equine et de la WEVA. pp 170. Genève.

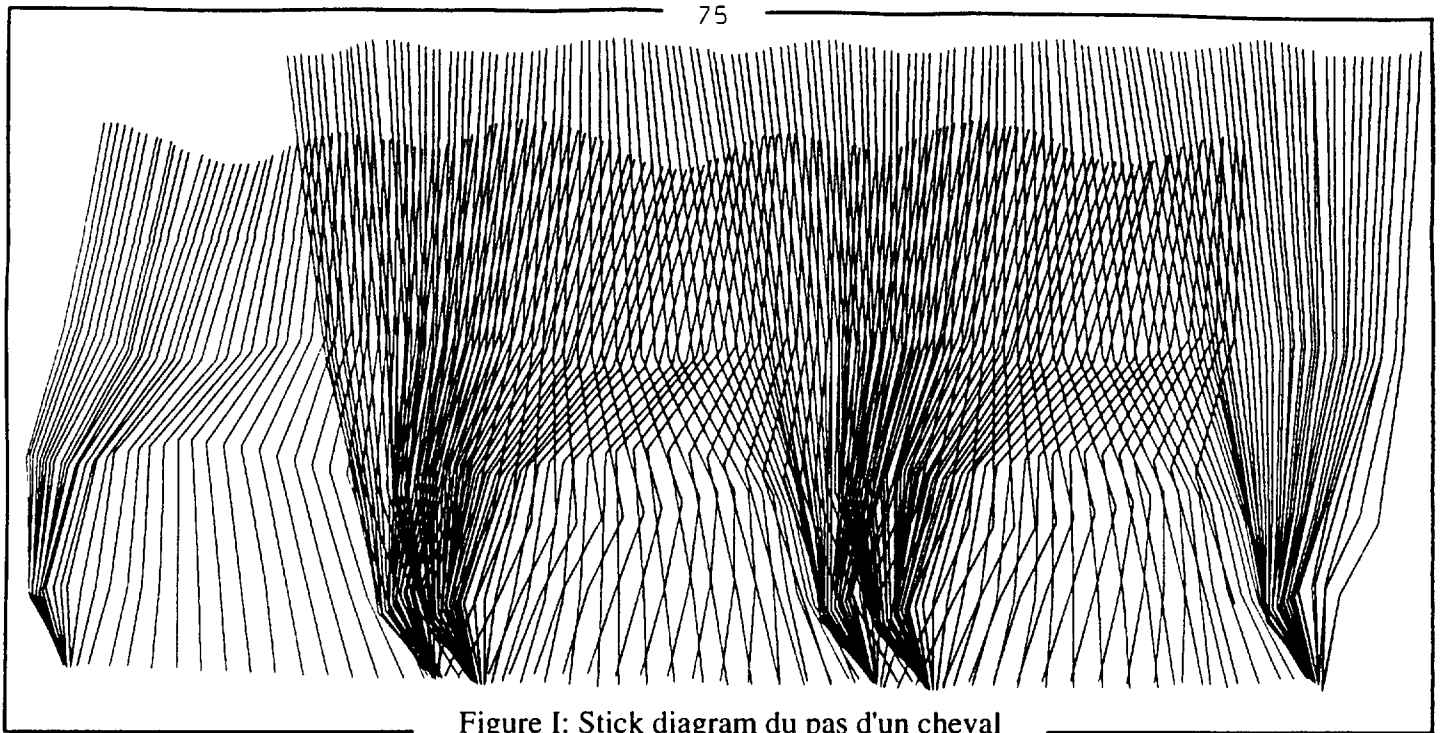


Figure I: Stick diagram du pas d'un cheval
Stick diagram of a horse at walk

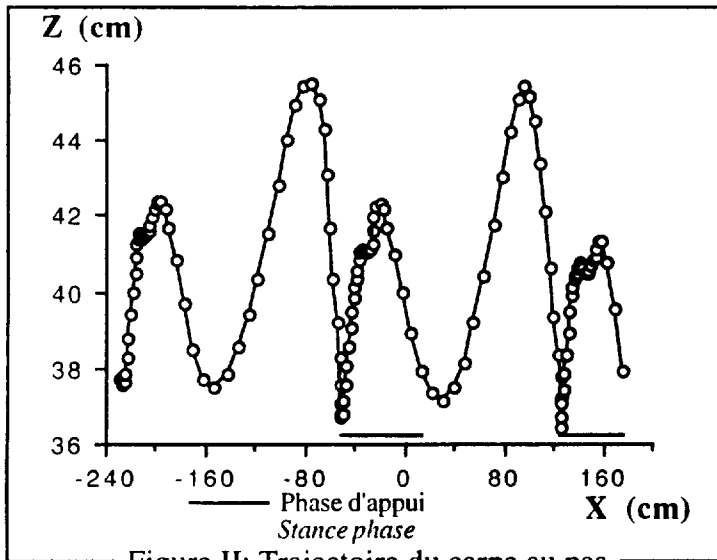


Figure II: Trajectoire du carpe au pas
Trajectory of carpus at walk

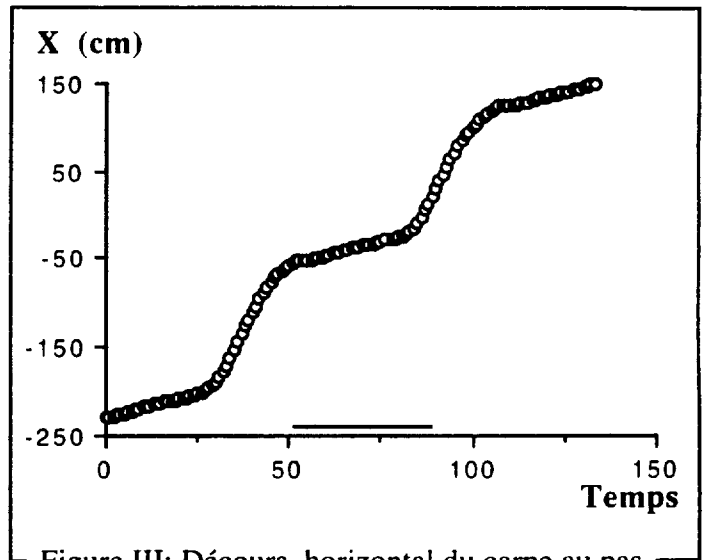


Figure III: Décours horizontal du carpe au pas
Horizontal time-displacement curve of carpus at walk

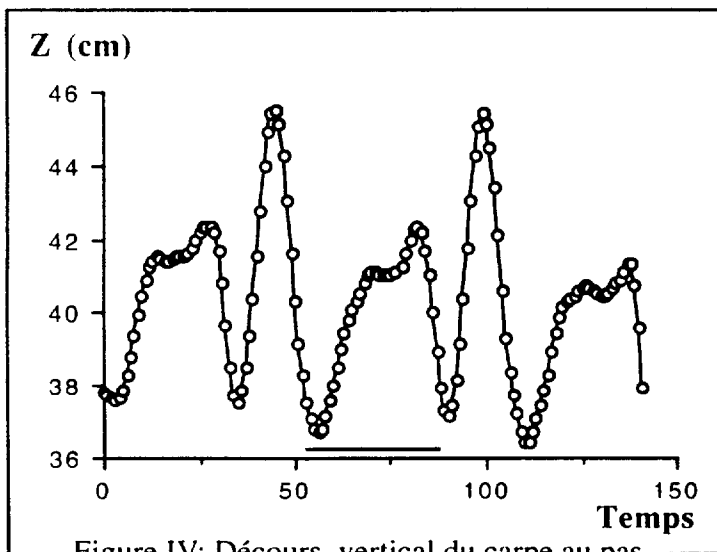


Figure IV: Décours vertical du carpe au pas
Vertical time-displacement curve of carpus at walk

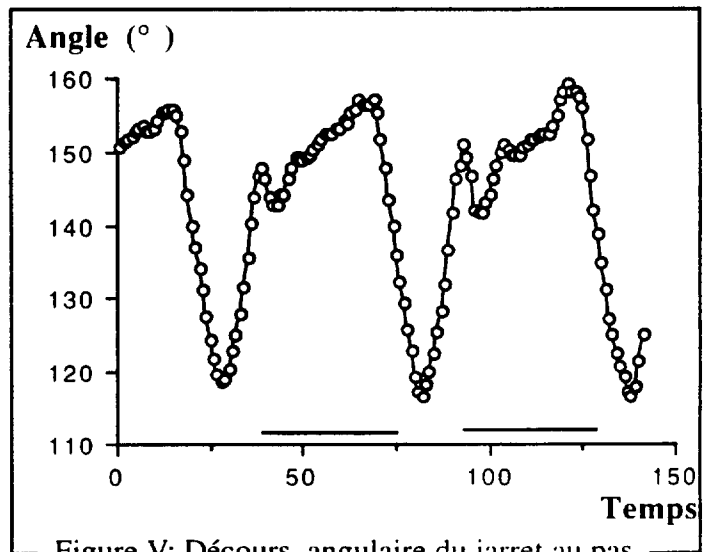


Figure V: Décours angulaire du jarret au pas
Time-angle curve of the hock at walk

- Goubaux, A. et Barrier, G. (1884) De l'extérieur du Cheval. J.B.Lippincott Co, Philadelphia.
- Hildebrand, M. (1965) Symmetrical gaits of horses. *Science* 150, 701-708.
- Kobluk, C.N. (1989) Use of high-speed cinematography and computer generated gait diagrams for the study of equine hindlimb kinematics. *Equine Vet. J.* 21(1), 48-58.
- Leach, D.H. (1983) Evolution of equine locomotion research. *Equine Vet. J.* 15(2), 93-102.
- Leach, D.H. (1983) A review of research on equine locomotion and biomechanics *Equine Vet. J.* 15(2), 93-102.
- Leach, D.H. (1984) Standardised terminology for the description and analysis of equine locomotion. *Equine Vet. J.* 16(6), 522-528.
- Lenoble du Teil, J.(1877) La locomotion des quadrupèdes étudiée sur le cheval. J. Haras.
- Marey, E.J. (1873) La machine animale, locomotion terrestre et aérienne. Ed Baillièrè. 299 p. Paris.
- Marey, E.J. (1883) Le Mouvement. Ed Masson. Paris.
- Muybridge, E. (1887) Animal Locomotion: an electro-photographic investigation of consecutive phases of animal movements. University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Muybridge, E. (1899) Animals in motion. Chapman & Hall Ltd, london (republié en 1957 and 1979 par Dover Publications, New-York. Le titre de l'édition de 1979 fut changé en: Muybridge's complete human and animal locomotion).
- Ratzlaff, M.H. and Grant, B.D. (1986) The use of electrogoniometry and cinematography in the evaluation of forelimb lameness. *Proc.Am.Ass.equine Pract.* 31, 183-199.