



Analyse de la locomotion du trotteur par une ceinture accélérométrique

Analysis of the trotter locomotion with an accelerometric belt

Par E. Barrey(*) B. Auvinet (**)

(*) INRA Station de Génétique Quantitative et Appliquée - Groupe Cheval - 78352 Jouy-en-Josas

(**) Centre Hospitalier de Laval - PEGASE - Département de médecine du sport 53024 Laval Cedex

Résumé

La conception d'une ceinture qui enregistre les mouvements locomoteurs du cheval permet désormais de réaliser de véritables tests locomoteurs. Cet appareillage a trois domaines d'application : le suivi de la locomotion lors des séances d'entraînement, la surveillance de l'état orthopédique du cheval et l'évaluation de l'aptitude locomotrice des jeunes chevaux.

Mots-clés : Cheval - Locomotion - Trotteur - Allure - Biomécanique

Summary

The purpose of this study was to measure some basic stride characteristics of French Trotters running on a racetrack by using an accelerometric belt. The recordings of the acceleration along the longitudinal and dorso-ventral axes of the trunc made it possible to calculate kinematic and kinetic stride parameters. The accumulation of data should enable us to determine the locomotor patterns which favour the race performance in Trotters.

Key-words : Horse - Locomotion - Trotter - Gait - Biomechanics

INTRODUCTION

Pourquoi et comment analyser les foulées du cheval Trotteur ?

L'entraîneur, le vétérinaire et le sélectionneur ont tous une raison de s'intéresser à l'analyse objective de la locomotion du cheval trotteur :

1. en contrôlant simultanément la cadence et l'amplitude des foulées, l'entraîneur pourrait suivre et favoriser la progression technique d'un cheval en cours d'entraînement ;
2. les problèmes orthopédiques étant la principale cause d'interruption de la carrière sportive, la surveillance de l'état orthopédique pendant le travail permettrait de prévenir les accidents graves ;
3. la valorisation d'un cheval en course étant à la fois un investissement financier et un travail de longue haleine, la pré-sélection des jeunes chevaux d'après leur aptitude locomotrice et énergétique serait un moyen efficace de rationaliser ces investissements.

L'objet de cet article est de montrer l'intérêt de mesurer les caractéristiques de la locomotion chez le cheval trotteur au moyen d'une ceinture accélérométrique. Ces travaux doivent conduire dans l'avenir à contrôler le travail en cours d'entraînement, surveiller l'état orthopédique et identifier les meilleurs chevaux dès leurs débuts.

I - LE CHOIX D'UNE TECHNIQUE DE MESURE ADAPTEE A LA LOCOMOTION

1. L'image permet difficilement de mesurer les mouvements

Quels sont actuellement les moyens d'analyser la locomotion du cheval ? Ce sont principalement des méthodes cinématiques basées sur des prises de vues cinématographiques ou vidéo qui ont été développées d'abord chez l'athlète humain, puis transposées au cas du cheval. Un film a l'avantage de visualiser les mouvements en 2 et 3 dimensions en enregistrant le déplacement des différentes parties du corps. En analysant un mouvement image par image, il est possible de mesurer les trajectoires et déplacements angulaires. Malheureusement, ces procédures de traitement des images sont très longues à réaliser et limitent considérablement les applications pratiques. De plus, elles n'apportent qu'une information sur les déplacements des parties du corps sans quantifier les forces dynamiques qui sont à l'origine des mouvements.

2. L'accélérométrie permet de mesurer facilement les forces qui créent les mouvements

Pour disposer d'un appareil d'analyse de la locomotion plus précis que l'image et surtout plus simple à utiliser dans la pratique, nous avons fait appel à l'accélérométrie, qui est une technique de mesure simple employée dans l'industrie aéronautique et automobile, ainsi qu'en biomécanique humaine. Les capteurs d'accélération (accéléromètres) sont sensibles aux variations de la vitesse. Il est possible de les placer sur le cheval pour enregistrer les mouvements de son corps ou de ses membres qui changent sans cesse de vitesse au cours de la locomotion. L'appareil est constitué d'une ceinture accélérométrique qui enregistre les mouvements verticaux et longitudinaux du thorax. Ainsi, les mouvements des membres sont enregistrés à travers les changements de vitesses du thorax.

II - SYSTEME D'ENREGISTREMENT ACCELEROMETRIQUE DES MOUVEMENTS LOCOMOTEURS

1. La ceinture accélérométrique

Pour enregistrer les mouvements locomoteurs périodiques, on place sur le thorax du cheval une ceinture élastique sous le harnachement. Celle-ci maintient fermement contre le sternum deux capteurs d'accélération qui enregistrent les mouvements verticaux (dorso-ventraux) et antéro-postérieurs (longitudinaux). La ceinture ainsi placée ne gêne pas le cheval et assure une bonne fixation des capteurs contre son corps. Les capteurs sont reliés à un émetteur qui transmet les mesures à un ordinateur situé en bord de piste dans une voiture suiveuse. Le système permet d'effectuer des enregistrements à toutes les allures pendant des durées de quelques secondes à plusieurs minutes.

2. Mesures des caractéristiques des foulées

Les tracés en fonction du temps de l'accélération dorso-ventrale et longitudinale du cheval au trot sont les informations brutes obtenues par le système de mesure (Fig.I). D'autres expérimentations réalisées sur un tapis roulant ont permis de connaître la signification de chaque partie des tracés d'accélération obtenus comme indiqué sur la figure II (Barrey et al., 1993). Plusieurs procédés de traitement du signal permettent d'extraire de ces courbes 4 paramètres locomoteurs simples qui décrivent les caractéristiques de la foulée du trotteur (Barrey et al. 1994) :

- la fréquence des foulées ou cadence
- la longueur des foulées ou amplitude
- l'effort de freinage-propulsion
- la symétrie des foulées

Figure I : Exemple d'enregistrement de l'accélération dorso-ventrale (haut) et longitudinale (bas) du thorax d'un cheval trotteur.

Example of an accelerometric recording in the dorso-ventral (up) and longitudinal (down) axes of the trunc in a trotting horse.

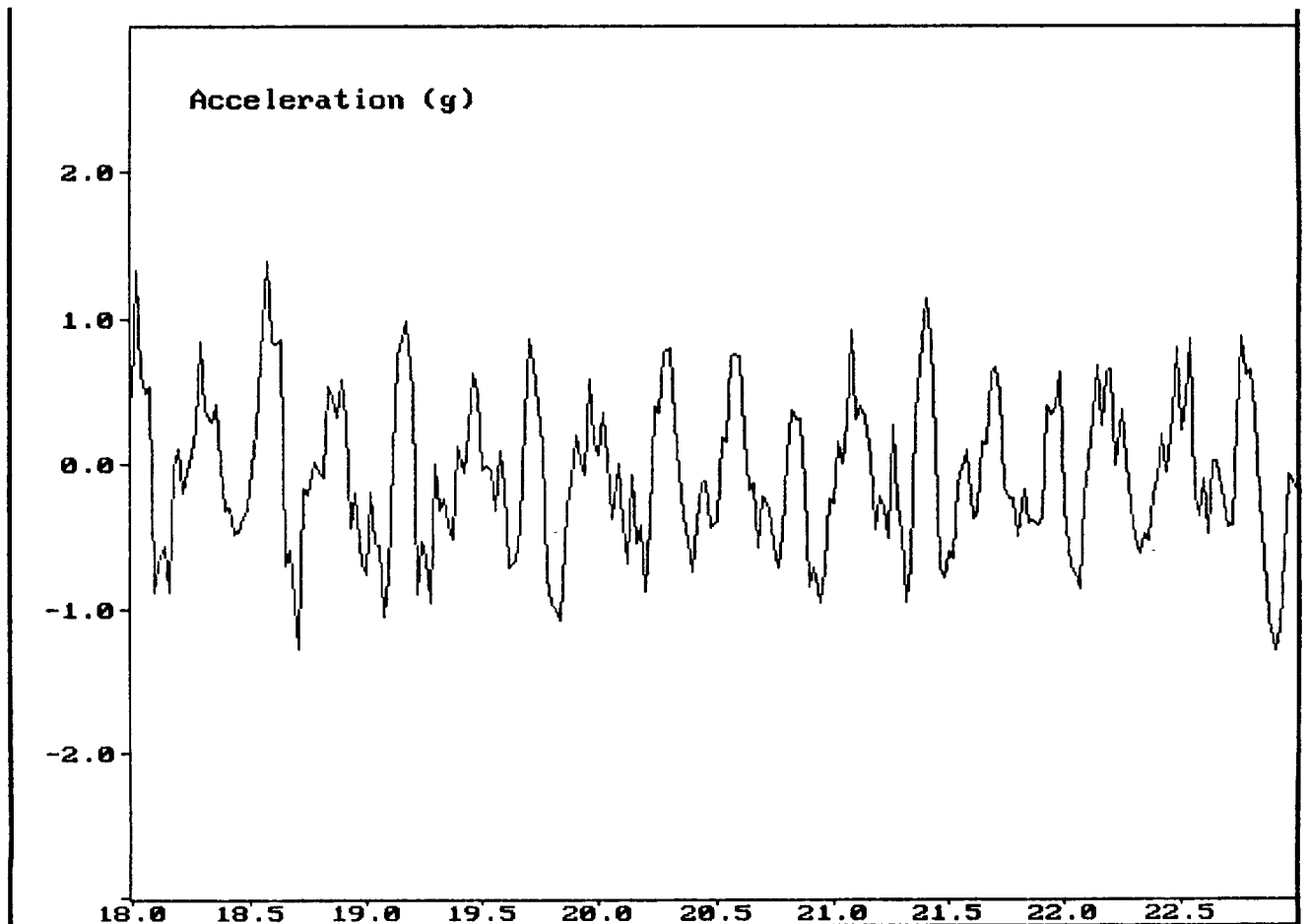
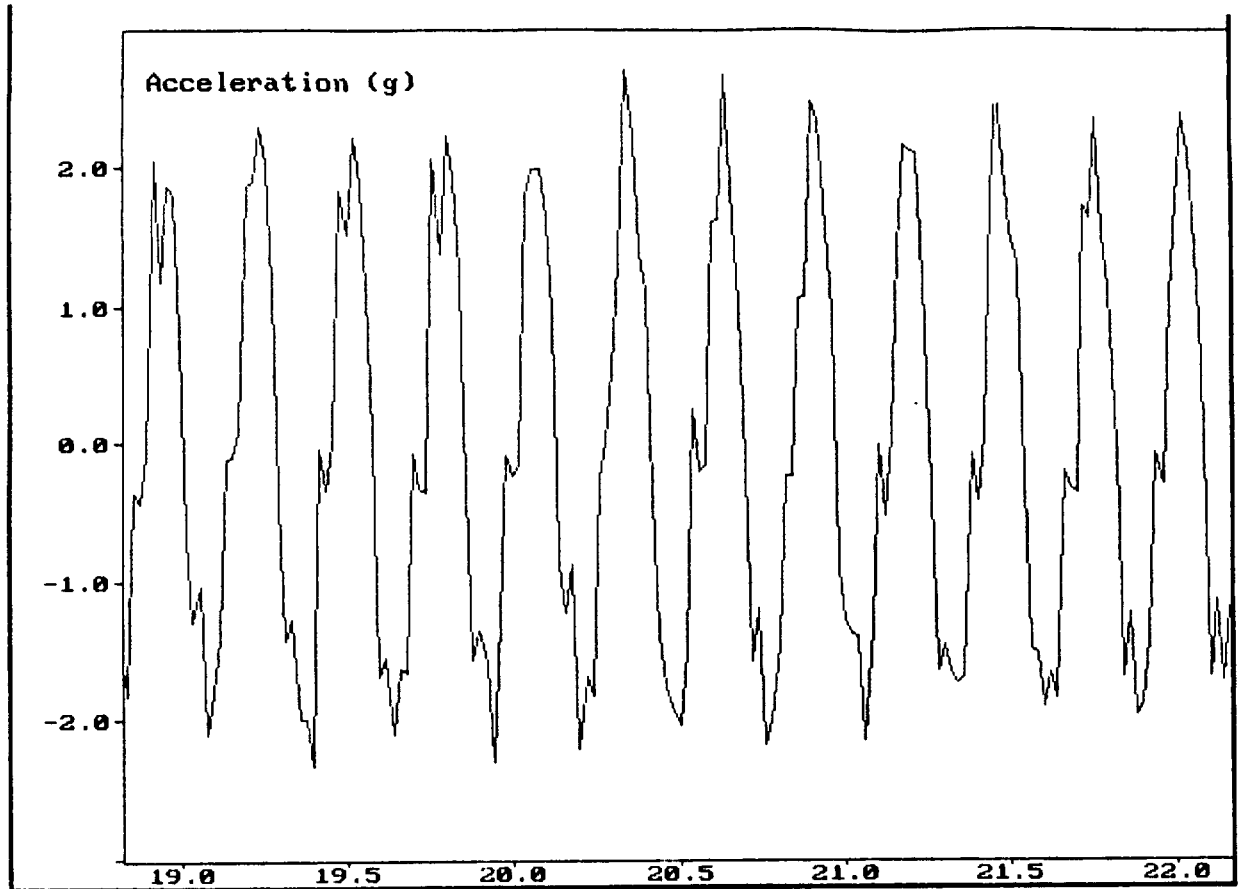
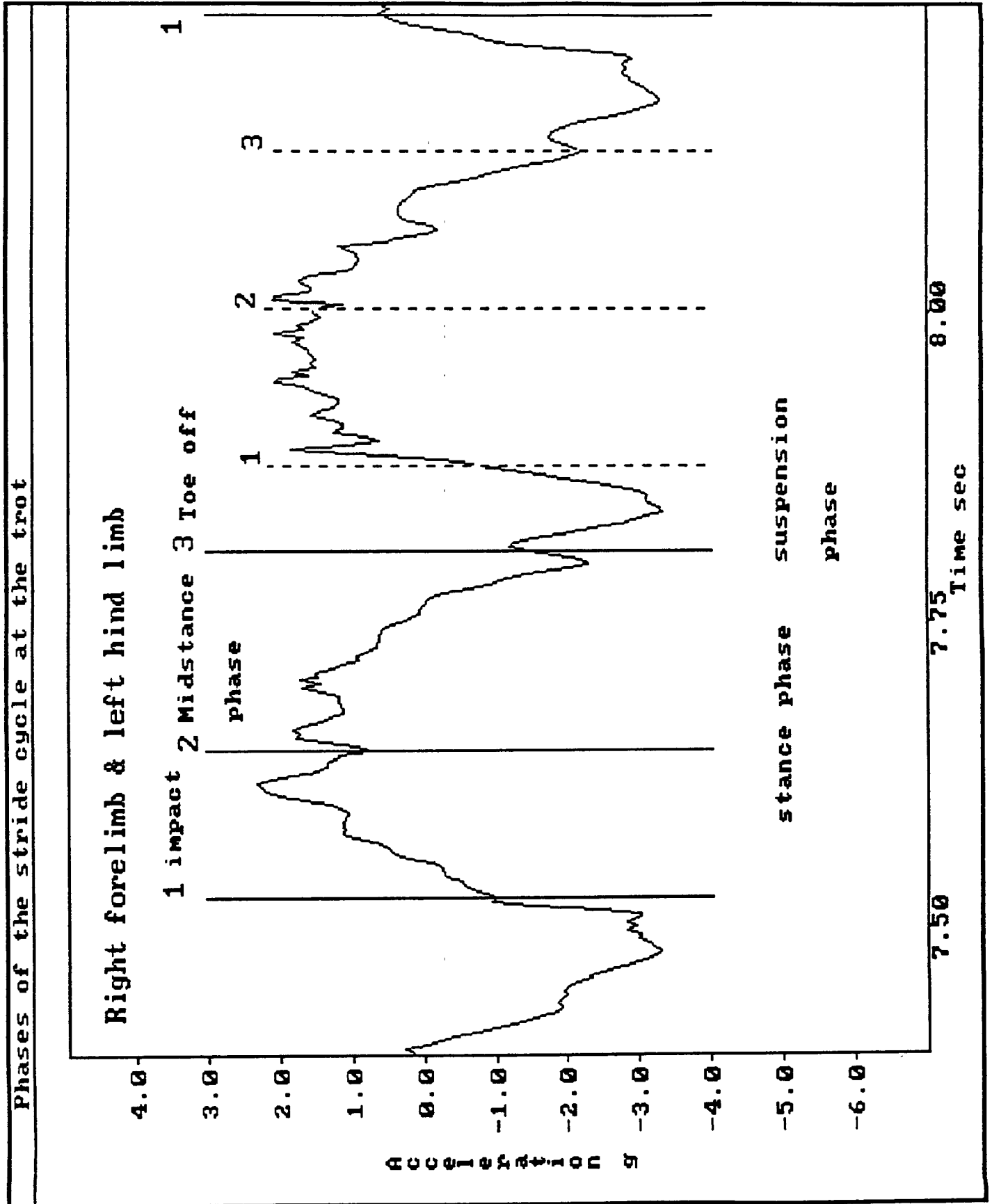


Figure II : Rapports entre les différentes phases du cycle locomoteur de la foulée de trot et le tracé d'accélération dorso-ventral du thorax (1=poser du pied au sol, 2=milieu de la phase d'appui lorsque l'axe du membre est vertical, 3=le pied quitte le sol).

Relationship between the phases of the limb cycle at the trot and the dorso-ventral acceleration of the trunc.



III - TEST LOCOMOTEUR DU TROTTEUR

1. Les chevaux testés

Lors de cette étude, 19 chevaux trotteurs issus de 4 écuries ont été testés sur l'hippodrome de Laval (Barrey et al. 1994). Il s'agissait de chevaux âgés de 3 à 6 ans ayant des performances très diverses d'après les indices de performances (ITR) 1993 : moyenne=99, mini=31, maxi=173. Certains d'entre eux posaient des problèmes d'allures irrégulières d'après leur entraîneur : 4 modérés et 3 importants.

2. Déroulement du test

Après un échauffement de 5mn à une vitesse moyenne de 378 m/min, les chevaux effectuaient un tour et demi à la vitesse moyenne de 626 m/min, puis ils récupéraient un demi tour avant de partir sur une ligne droite à la vitesse moyenne de 737 m/min. Les enregistrements accélérométriques des mouvements se faisaient sur les lignes droites lorsque l'allure était stabilisée.

Le sulky était équipé d'un Speed plus Equus (Baumann SA) pour enregistrer la vitesse réelle ainsi que la fréquence cardiaque tout au long du test. Parallèlement, aux enregistrements d'accélération, les chevaux étaient filmés par une caméra vidéo placée dans la voiture suiveuse, afin de pouvoir éventuellement vérifier a posteriori le bon déroulement du test.

IV CARACTERISTIQUES DE LA LOCOMOTION DES TROTTEURS TESTES

1. Les deux composantes de la vitesse

La vitesse de déplacement du cheval est le produit de la fréquence par la longueur des foulées. Les deux composantes de la vitesse augmentent très proportionnellement à celle-ci (coefficients de régression respectifs de 0,94 et 0,97). A la vitesse maximale de 11,5 à 14,22 m/s, la fréquence des foulées atteint 2,20 à 2,52 foulées/s tandis que l'amplitude de la foulée est de 4,95 à 5,92 m.

2. Les efforts de propulsion

L'accéléromètre longitudinal mesure les variations d'accélération dans l'axe de déplacement du cheval. Le capteur étant fixé sur le thorax, il mesure les accélérations et décélérations qui résultent des efforts déployés par les quatre membres. Lorsqu'un membre se pose au sol, le corps du cheval est d'abord décéléré (accélération négative) car il y a un effort de freinage ; puis, dans la seconde phase de l'appui, le corps est accéléré (accélération positive), car le membre exerce un effort de propulsion. En mesurant les pics d'amplitudes extrêmes de la courbe d'accélération longitudinale (Fig.I), on évalue donc les efforts successifs de freinage-propulsion. La moyenne de ces accélérations vaut zéro, car le trot était enregistré à vitesse stabilisée. Ces

efforts de freinage-propulsion augmentent proportionnellement avec la vitesse du trot (coefficient de régression $r=0,77$).

3. La régularité et la symétrie du trot

Les courbes de la figure II montrent bien l'aspect périodique des mouvements du trot. La courbe d'accélération dorso-ventrale met en évidence les deux demi-foulées correspondant à l'appui du diagonal gauche et droit.

La comparaison des motifs de la courbe du diagonal droit et gauche permet de calculer un index de symétrie du trot. Lorsque celui-ci est inférieur à 100, la symétrie des mouvements des deux diagonaux est d'autant plus mauvaise que la valeur de l'index est plus basse. Au-dessus de 100, le trot présente une symétrie satisfaisante.

La détection d'une asymétrie de l'allure peut avoir trois significations :

1. soit le cheval est naturellement asymétrique du fait de l'existence d'une latéralité (gauche ou droite)
2. soit le cheval a une allure irrégulière différente du trot
3. soit le cheval est boiteux.

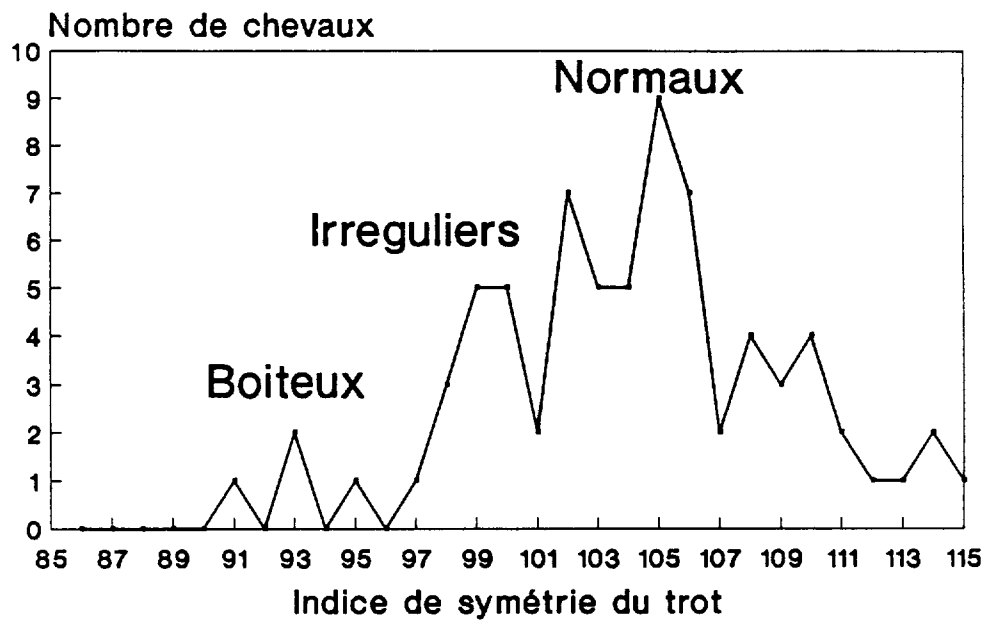
Dans le cas de notre test, les chevaux étaient évalués en ligne droite pour éviter les effets de virage. Un seul cheval était cliniquement boiteux (desmite chronique du ligament suspenseur du boulet). La figure III montre la distribution des index de symétrie calculés à toutes les vitesses pour tous les chevaux testés. Les chevaux ayant de réels problèmes d'allures soit pour une raison orthopédique, soit pour une autre raison, sont placés dans la partie gauche du graphique. En particulier, les chevaux déclarés plus ou moins réguliers par leurs entraîneurs sont le plus souvent situés dans cette même partie.

4. Relations entre les caractéristiques du trot à vitesse maximale et les performances du cheval

L'analyse des mesures réalisées au dernier palier de vitesse (assimilable à la vitesse maximale sur 200 m) montre l'existence de corrélations significatives ($p<0,05$) entre certains paramètres des foulées et le niveau des performances réalisées par les chevaux testés. Ainsi les indices de performances (ITR) sont corrélés avec la vitesse maximale (0,58), la fréquence maximale des foulées (0,44) et l'amplitude des efforts de freinage-propulsion (-0,66). Les meilleurs chevaux ont donc une vitesse de pointe supérieure, avec un cadence maximale élevée. Chez ces chevaux, les mouvements des membres semblent plus efficaces puisqu'à vitesse stabilisée, ils freinent moins à chaque poser et ont donc moins d'effort de propulsion à renouveler à chaque foulée.

Figure III : Distribution des indices de symétrie du trot mesurés sur tous les chevaux à toutes les vitesses.

Distribution of the trot symmetry index which were measured in all the horses at every speeds. (Boiteux=Lame, Irréguliers=Irregular gait, Normaux=sound)



CONCLUSION

Cette étude de la locomotion du trotteur au moyen de la ceinture accélérométrique montre l'intérêt pratique de cet appareillage pour fournir rapidement une analyse globale des caractéristiques de la locomotion d'un cheval au travail sur la piste. La fréquence et la longueur de la foulée expliquent la manière dont le cheval produit sa vitesse maximale. La mesure de l'accélération de freinage-propulsion semble refléter l'efficacité des mouvements locomoteurs et ce paramètre est d'ailleurs corrélé aux performances du cheval. Ce sont donc des mesures qui ont un intérêt pour l'entraînement et la sélection précoce des chevaux. Enfin, la quantification de la symétrie de l'allure présente un grand intérêt pour suivre l'état orthopédique d'un cheval. La sensibilité de la mesure permettra, semble-t-il, de détecter précocement toute détérioration de la symétrie du trot.

Cet appareillage expérimental d'accélérométrie doit être maintenant simplifié pour devenir directement utilisable par l'entraîneur. Ainsi, la réalisation prochaine d'un petit appareil de mesure accélérométrique permettra la mise en applications pratiques de ces résultats expérimentaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Barrey E., Galloux P., Valette J.P. (1993), Relationships between accelerometric and kinematic measurements in a running horse, Proc. Int. Soc. Biomech., 4-8 july, Paris, pp 148-149.

Barrey E., Hermelin M., Vaudelin J.L., Poirel D., Valette J.P. (1994), Utilization of an accelerometric device in equine gait analysis, Equine Veterinary Journal, Suppl. of Second International Workshop of Animal Locomotion (sous presse).

Barrey E., Auvinet B. (1994), Gait evaluation of race trotters by using an accelerometric device, Proc. 4th International Conference of Equine Exercise Physiology, 11-15th july, Brisbane.