

## ETUDE COMPARATIVE DES QUALITES DE CONFORT DE DIFFERENTS SOLS EQUESTRES

E. BARREY

Laboratoire de Physiologie Sportive I.N.R.A., Ecole Vétérinaire d'Alfort.

**RESUME:** Les propriétés mécaniques des sols utilisés dans les différentes disciplines équestres sont déterminantes quant à l'expression de la performance sportive et à la prévention des pathologies orthopédiques. En s'appuyant sur des connaissances précises de la biomécanique de l'appareil locomoteur du cheval, il est possible de comparer objectivement les qualités mécaniques des sols équestres les plus courants. Ainsi, les capacités d'absorption des chocs, d'amortissement des vibrations et d'élasticité des sols sont mesurées sous les pieds des chevaux. Les résultats obtenus nous amènent à fournir des recommandations pratiques pour choisir les matériaux à utiliser pour construire un sol équestre en fonction de son utilisation.

Les qualités physiques et mécaniques des sols utilisés pour les différentes disciplines hippiques s'avèrent déterminantes quant à l'expression de la performance sportive et à la prévention de certaines pathologies de l'appareil locomoteur. Il faut souligner qu'en course d'athlétisme, une part de l'amélioration incessante des records est due à l'optimisation des matériaux employés pour construire les pistes de stades et les semelles de chaussures.

La réalisation des sols de manège, de carrière, de terrains d'obstacles ou de pistes de courses s'appuie sur une longue expérience empirique des utilisateurs de chevaux.

Jusqu'à présent, très peu de travaux de recherche se sont intéressés aux interactions biomécaniques entre les membres du che-

val, la ferrure et la piste (PRATT 1984; THOMPSON and ROONEY 1987).

Pourtant les qualités de ces éléments apparaissent d'une part comme des facteurs limitants de la performance sportive et d'autre part comme des facteurs prédisposant aux atteintes des structures osseuses, articulaires, ligamentaires et tendineuses (CHENEY et al. 1973).

L'objet de cette étude préliminaire a été de comparer quantitativement les qualités mécaniques des sols équestres les plus courants à l'aide de mesures biomécaniques effectuées sur un cheval au trot et d'analyses physiques du sol sur lequel il évolue.

## MATERIEL ET METHODE: Protocole de mesure:

Le test repose sur des connaissances précises de la biomécanique du pied aux différentes allures (BARREY 1987 a; BARREY 1987 b; BARREY 1988 a; BARREY 1988 b; BARREY 1989). L'emploi du Système d'Analyse Biomécanique des Allures du Cheval (SABAC) permet de mesurer durant plusieurs foulées successives les forces d'appui verticales, les variations d'accélération, les chocs et les vibrations d'un pied venant s'appuyer au sol (Figure 1) (BARREY 1987 c).

**Figure 1:**  
*L'hipposandale munie de capteurs de force et d'accélération est fixée sur un pied antérieur.*



Pour tester une piste, le pied antérieur gauche d'un cheval est équipé de l'hipposandale exploratrice munie de capteurs de force et d'accélération. Un cavalier mène le cheval au trot régulier sur une trajectoire rectiligne. Les mesures biomécaniques sont enregistrées à haute fréquence durant cinq foulées successives lorsque l'allure est jugée stable. Pour chaque cheval, des mesures biomécaniques sont effectuées sur les sols à tester d'une part et sur du béton, considéré comme le sol de référence (raidement maximum) d'autre part. Il est ainsi possible de discerner l'effet cheval de l'effet sol.

Pour chaque piste testée, un échantillon est prélevé pour réaliser des analyses de sol: densité, granulométrie (% particules

<2mm, % particules >2mm), composition (Matière organique, matière plastique, matière minérale).

## Traitement des données biomécaniques:

Le logiciel d'analyse des données du SABAC permet d'évaluer trois catégories de paramètres d'après les enregistrements de force d'appui et d'accélération du pied.

La figure 2 rappelle schématiquement les principaux événements biomécaniques qui surviennent lors de la phase d'appui d'un pied sur un sol dur. Les paramètres sont choisis pour décrire trois phénomènes distincts :

- 1/ l'impact ou choc du pied sur le sol ;
- 2/ les efforts d'appui verticaux ;
- 3/ les durées caractéristiques de la foulée.

L'impact du pied contre le sol constitue un choc entre deux solides déformables qu'il convient d'analyser sur l'enregistrement accélérométrique (BARREY 1988 a).

Le choc est caractérisé par :

- la décélération maximum (choc proprement dit) ;
- la durée du choc ;
- l'accélération maximum du rebond consécutif au choc.

Les vibrations générées par le choc sont analysées par :

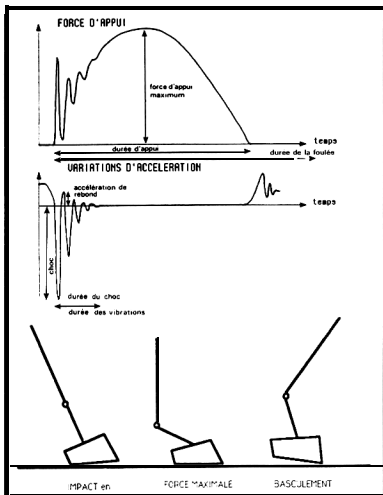
- la fréquence moyenne des vibrations ;
- la durée d'atténuation des vibrations.

Les forces d'appui verticales du pied contre le sol sont caractérisées par :

- la force d'appui maximale du pied (environ à la moitié de la durée d'appui) ;
- la répartition des forces d'appui sur les quartiers par opposition avec la pince.

Au cours d'une foulée, chaque membre passe par une phase d'appui au sol puis une phase de soutien. Une description sommaire de la chronologie de l'allure est faite par les mesures :

- de la durée d'appui ;
- de la durée de la foulée (durée



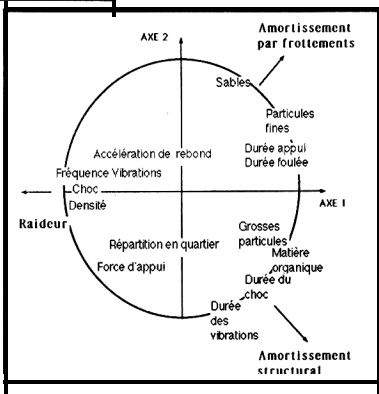
**Figure 2:** Schématisation des principaux événements biomécaniques qui surviennent lors de l'appui du pied sur le sol. Les qualités mécaniques des sols équestres sont évaluées d'après les paramètres biomécaniques qui décrivent l'impact, les efforts d'appui et les durées caractéristiques de la foulée.

**Figure 3:** Représentation graphique du cercle de corrélation des variables étudiées par l'Analyse en Composantes Principales. Cette méthode statistique effectue la synthèse de toutes les informations obtenues. Le regroupement des variables entre elles conduit à attribuer une signification mécanique précise à certaines orientations : raideurs, amortissement par frottements et amortissement structural.

d'appui+durée de soutien) qui définit la fréquence de l'allure ou la cadence :  
 fréquence = 1 / durée foulée.

## RESULTATS

Chaque sol testé est caractérisé par 14 paramètres. De manière à faire la synthèse de ces informations et à interpréter les résultats obtenus, une Analyse en Composantes Principales (ACP) est pratiquée sur l'ensemble des données obtenues (FOUCART 1986). Cette méthode statistique étudie les corrélations entre les variables et compare les individus selon ces mêmes variables. Le cercle de corrélation des variables de la figure 3 illustre les rapports entre les paramètres étudiés. Schématiquement, plus deux paramètres sont corrélés positivement, plus ils sont proches l'un de l'autre ; inversement, plus ils sont antago-



# La Parole aux Chercheurs

nistes (corrélés négativement) plus ils sont diamétralement opposés. La figure 4 situe les sols les uns par rapport aux autres en fonction de la valeur des paramètres de chacun.

**De manière concrète, les principaux résultats sont les suivants:**

## L'impact:

L'intensité du choc du pied contre le sol est étroitement liée à la densité de la couche superficielle de celui-ci. Plus elle est dense, plus le choc est brutal et plus la fré-

quence des vibrations qui en résultent est élevée.

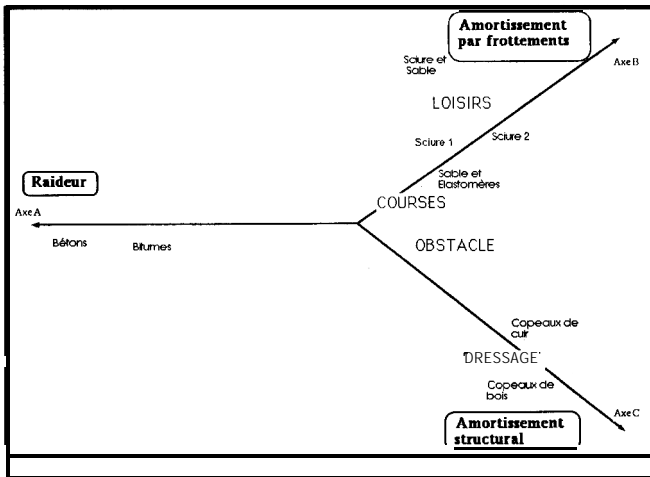
La brutalité du choc est nettement diminuée pour les sols comportant soit des particules fines (<2mm), soit des particules plus grosses (>2mm) d'origine organique ou synthétique (bois, cuir, polymères). La fréquence des vibrations consécutives au choc est plus faible pour les surfaces à particules fines et/ou à proportion importante de matière organique (bois, cuir).

## Les forces d'appui:

La force d'appui maximum a une amplitude d'autant plus élevée que le sol est dense. L'intensité de cette force est inversement liée à la durée d'appui du pied sur le sol.

La proportion des efforts qui s'exercent sur les quartiers s'accroît avec l'augmentation de la force d'appui maximum et la

**Figure 4 : Représentation graphique des résultats étudiés par l'Analyse en Composantes Principales. Les différents sols équestres testés sont situés sur un repère d'axes selon les valeurs des paramètres qui les caractérisent. La comparaison des sols équestres selon trois comportements mécaniques permet de mieux définir les qualités requises pour la pratique de telle ou telle discipline équestre.**



ZEBARTH and SHEARD 1985).

**L'évaluation correcte des caractéristiques mécaniques d'une piste équestre nécessite des mesures biomécaniques des appuis réalisés aux allures normales du cheval.**

Aux faibles vitesses (Trot moyen), l'appareillage utilisé est satisfaisant mais aux allures plus vives, nous sommes amenés désormais à utiliser des capteurs accélérométriques très légers, n'interférant pas sur les mouvements rapides des membres (étude des pistes de course en cours).

En plus des mesures biomécaniques, certaines analyses physiques des sols permettent de prédire les qualités mécaniques de ceux-ci, comme la densité, la granulométrie et la composition. Pour les études plus approfondies, nous devons considérer la résistance du sol au basculement du pied (importance au galop) (WALDRON and DAKESSIAN 1982; ZEBARTH and SHEARD 1985), l'enfoncement du pied au cours de l'appui, l'humidité interstitielle et la géométrie des particules (MIKI 1960). Par ailleurs, pour les pistes de course, le dessin des courbes et l'inclinaison des virages sont des éléments importants à prendre en compte pour prévenir certaines affections ostéo-tendineuses des parties distales des membres et pour améliorer leurs performances (FREDERICSON et al. 1975).

Cette étude comparative démontre la meilleure adaptation de certains sols pour un type donné de discipline équestre.

L'antagonisme entre la raideur et l'amortissement souligne le compromis à rechercher entre la performance sportive (vitesse ou saut) et le confort locomoteur du cheval (THOMPSON and ROONEY 1987). Un sol trop raide (béton à l'extrême) engendre des chocs intenses et s'oppose au basculement du pied, mais il permet une cadence d'allure élevée en diminuant la durée d'appui du membre dont l'élasticité tend à s'accroître (Mc MAHON et GREENE

1979). Un sol trop mou fuit sous le pied du cheval de saut d'obstacles ou s'écrase trop sous les membres du cheval de course, d'où une perte de puissance notable et un allongement de la durée d'appui qui limitent les performances.

**Les sols adaptés au travail d'obstacle ou de course doivent comporter une certaine raideur.**

Celle-ci permet, d'une part, d'obtenir une réponse du sol sollicité et, d'autre part, d'accentuer l'élasticité musculaire des membres. Cette qualité mécanique ne doit pas aller à l'encontre d'une bonne capacité d'amortissement de l'impact. Sur la figure 4, ces sols se situeraient vers la partie droite de l'intersection des axes. Idéalement, la piste de course la plus rapide et la plus confortable doit être en harmonie mécanique parfaite avec les membres du cheval. Dans la première moitié de la phase d'appui, la fonction du membre est d'amortir l'impact puis l'inertie de la masse ; pendant ce temps le sol doit aider à cet amortissement en se déformant (absorption d'énergie cinétique). Au cours de la seconde moitié de la phase d'appui, la fonction majeure est de propulser le corps. Le sol doit alors répondre et restituer de l'énergie cinétique au cheval pour faciliter la propulsion. Ce sol idéal se rapproche des pistes en gazon, ce qui supposerait une adaptation biomécanique de l'appareil locomoteur du cheval aux conditions de milieu.

**Pour le dressage, le sol doit faciliter le maintien d'une cadence régulière et l'amplitude du mouvement.**

Les qualités d'amortissement réduisent la brutalité de l'impact et l'amplitude maximale de la force d'appui mais allongent la durée d'appui (diminution de la fréquence des foulées) et consomment de la puissance musculaire. Parmi les deux modes d'amortissement mis en évidence sur les figures 3 et 4, l'amortissement structural des copeaux de bois ou de cuir est particulièrement efficace mais engendre une fréquence d'allure plus lente par augmentation de la durée d'appui.

Ce type de sol paraît donc très adapté au travail de dressage. En effet, les résultats démontrent un ralentissement de la cadence et une meilleure régularité de celle-ci sur les sols de type amortissement structural. De plus, l'amplitude des foulées est accrue du fait d'un temps d'appui plus long et d'un léger enfoncement du pied dans le sol.

**L'enseignement et la rééducation des chevaux requièrent une bonne sécurité ainsi que du confort.**

Pour l'enseignement et la rééducation des chevaux convalescents (KILBY 1987), les sols de type amortissement structural procurent un excellent confort et une bonne sécurité en cas de chute. Par contre, leur coût d'installation et d'entretien est élevé. Les sols dotés d'un amortissement par frottements sont moins coûteux et plus polyvalents du fait de leur moindre capacité d'amortissement et de leur plus grande raideur.

**Les modalités d'entretien des sols équestres déterminent largement l'évolution de leurs qualités mécaniques.**

Par exemple, le compactage des sables fins sous la surface accentue rapidement la raideur ; la détérioration progressive des copeaux de cuirs ou de bois en particules plus fines modifient les propriétés d'amortissement et de raideur du sol ; l'arrosage d'un terrain sableux transforme complètement la raideur et les propriétés d'amortissement par frottements (EVESQUE et RAJCHENBACH 1988). Tous ces facteurs d'entretien mériteraient d'être évalués plus précisément pour connaître la longévité des installations et leur coût global en rapport avec le confort locomoteur procuré.

## CONCLUSION:

Ce travail préliminaire contribue à l'approche rationnelle de la conception des sols équestres et des pistes de course qui doit permettre de diminuer l'incidence des affections orthopédiques des chevaux, tout

en leur facilitant l'effort physique. La ferrure qui interagit mécaniquement à la fois avec le membre et le sol, doit également faire l'objet d'améliorations techniques basées sur des données expérimentales précises. Les athlètes humains ont déjà largement bénéficié des améliorations techniques portant sur les matériaux à la fois des sols et des chaussures de sport.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- BARREY E., 1988 a, Chocs et vibrations lors de l'impact du pied du cheval sur différents types de sol, XIIIème Congrès de la Société de Biomécanique, 15-16 Septembre, Université de Louvain, Belgique.
- BARREY E., 1988 b, Biomécanique du pied du cheval: détermination des normes et de leurs facteurs de variation, 14ème journée d'Etude CEREOPA, 9 Mars 1988, PARIS, pages 27-42.
- BARREY E., 1989, Investigations of the vertical hoof force distribution in the forelimb with a new measuring system, Equine Veterinary Journal (in press).
- BARREY E., 1987 a, Foot biomechanics in the normal horse: a study of the hoof forces distribution in the forelimb, 5th International Symposium of Biomechanics in Sports, 13-17 July 1987, ATHENES.
- BARREY E., 1987 b, Biomécanique du pied du cheval: étude expérimentale, Thèse de doctorat vétérinaire, ENV Alfort 1987.
- BARREY E., 1987 c, Etude biomécanique du pied du cheval: mise au point d'un système de mesure des actions mécaniques, Mémoire de DEA de Biomécanique ENSAM, PARIS.
- CHENEY J.A., SHEN C.K., WEAT J.D., 1973, Relationship of racetrack surface to lameness in the Thoroughbred Racehorse, Am. J. Vet. Res., 34, 1285-1289.
- EVESQUE P., RAJCHENBACH J., 1988, La dynamique du tas de sable, La recherche, 205, 1528-1529.
- FOUCART T., 1981, Analyse factorielle: programmation sur micro-ordinateurs, Collection Méthode programme, Masson, PARIS.

# La Parole aux Chercheurs

FREDERICSON I., DALIN G., DREVEMO S., HJERTEN G., 1975, Biotechnical approach to geometric design of racetracks, *Equine Veterinary Journal*, 7, 91-96.

KILBY E., 1987, Celcore's layered surface developed to ease training pains, *Equus*, 117, 26-30.

MIKI G., 1960, The construction of new type sand track on the basis of soil engineering, *Soil and Foundation*, Vol 1, 38-49.

Mc MAHON T.A., GREENE P.R., 1979, The influence of track compliance on running, *J. Biomec.*, 12, 893-904.

PRATT G.W., 1984, Racing surfaces- A survey of mechanical behavior, *Proceeding*

*Am. Ass. Equine Pract.*, 30, 321-331.

THOMPSON K.N., ROONEY J.R., 1987, The race track surface-equine digit interaction, *Equine Veterinary Data*, 7, 389-390.

WALDRON L.J., DAKESSIAN S., 1982, Effect of grass, legume and tree roots on soil shearing resistance, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 894-899.

ZEBARTH B.J., LEE D., KAY B.D., 1984, Impact resistance of three soils under varying moisture and subzero temperature conditions, *Can. Geotech. J.*, 21, 449-455.

ZEBARTH B.J., SHEARD R.W., 1985, Impact and shear resistance of turf grass racing surfaces for Thoroughbreds, *Am. J. Vet. Res.*, Vol 46, 4, 778-784.