

1527

15ème Journée d'Etude



8 mars 1989

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

Par le Docteur E. BARREY  
Laboratoire de Physiologie Sportive  
I.N.R.A.  
E. N. V. Alfort  
7, Avenue du Général de Gaulle  
94704 MAISONS-ALFORT CEDEX

Résumé

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 différentes pistes quant à leur capacité d'absorption des chocs, d'amortissement des vibrations et d'élasticité sous le pied. L'analyse multifactorielle des résultats obtenus nous amène à fournir des recommandations en ce qui concerne le choix des matériaux à utiliser en fonction de la discipline équestre pratiquée.

Mots-clés : CHEVAL - BIOMECHANIQUE DU PIED - PISTE - ANALYSE MULTIFACTORIELLE - IMPACT DU PIED

Summary

The mechanical properties of the tracks used for equestrian sports seems to be very important to perform and to prevent lameness. The shock absorption, the vibrations damping capacity and the elasticity of different tracks was performed by measuring biomechanical parameters with an instrumented hipposandal. A multicomponents analysis of 14 parameters provided valuable informations to choose the soil materials in regard of the equine sport activity.

Key-woeds : HORSE - FOOT BIOMECHANICS - TRACK - MULTICOMPONENTS ANALYSIS - HEEL STRIKE

© - CEREOPA - 1989

1527

## INTRODUCTION

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 terrain d'obstacles ou de postes 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 cheval, la ferrure et la piste (PRATT, 1984 ; THOMSON 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 prédisposants 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.

## 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)** décrit antérieurement 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 (BARREY, 1987 c).

**Pour tester une piste**, le pied antérieur gauche d'un cheval est équipé de l'hippodandale exploratrice. 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 utilisé, des **mesures biomécaniques** sont effectuées sur les sols à tester d'une part et sur du béton, considéré comme sol de référence d'autre part. Il est ainsi possible de discerner l'effet cheval de l'effet sol.

Pour chaque poste testé, un échantillon est prélevé pour réaliser des **analyses de sol** :

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

## TRAITEMENT DES DONNEES MECANIQUES

### 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 I rappelle schématiquement les **principaux événements biomécaniques** qui surviennent lors de la phase d'appui. 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
- 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 puis une phase de soutien. Une description sommaire de la **chronologie de l'allure** est faite par la mesure :

- de la durée d'appui,
- de la durée de la foulée (durée d'appui + durée de soutien) qui définit la fréquence de l'allure ou la cadence (fréquence =  $\frac{1}{\text{durée foulée}}$ )

### 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 1981). 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 II 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 antagonistes (corrélés négativement)

vitement) plus ils sont diamétralement opposés. La figure III 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 fréquence des vibrations qui en résultent est élevée.

La brutalité du choc est nettement diminuée pour les sols comportant soit des particules fines (< 2 mm), soit des particules plus grosses (> 2 mm) 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 diminution de la durée d'appui.

#### **Les durées caractéristiques de l'allure**

La durée d'appui du pied sur le sol est d'autant plus courte que celui-ci est dense. Ainsi, les sols comportant une grande proportion de particules fines (sol moins dense en général) entraînent un appui plus long.

La figure III classe les sols équestres testés suivant **trois composantes du comportement mécanique**. L'axe A (correspondant à l'axe 1 de l'ACP) caractérise la **raideur** ou l'élasticité tandis que les axes B et C (correspondant à une combinaison des axes 1 et 2 de l'ACP) précisent le type d'amortissement ou la souplesse du sol. L'axe B définit les sols où l'**amortissement par frottements** se fait par déplacements relatifs des particules indéformables. L'axe C définit les sols dotés d'un amortissement **d'origine structurale**. Dans ce dernier cas, les propriétés amortissantes du sol sont dues essentiellement aux propriétés des matériaux qui constituent les particules déformables.

Les rapports entre les qualités physiques et les caractéristiques mécaniques des sols équestres sont intéressants à connaître pour **bien choisir les matériaux de construction d'une piste en fonction de son utilisation**. La raideur (ou élasticité) est étroitement liée à la densité du sol : les sols les moins denses sont les plus amortissants mais aussi les plus "fouillants". La présence d'une forte proportion de particules de faible taille (< 2 mm) telles que du sable ou de la sciure fine confère au sol des propriétés d'amortissement par frottements (cf. empreinte). Au contraire, la présence d'un pourcentage important de particules de grosse taille (> 5 mm et < 20 mm) en bois, cuir ou élastomères divers, procure au sol des qualités d'amortissement plutôt d'origine structurale (déformations plus ou moins réversibles) souvent très performantes.

## DISCUSSION ET IMPLICATIONS PRATIQUES

Le protocole de mesure employé s'avère satisfaisant pour comparer les qualités de confort des sols équestres courants. L'utilisation d'une hipposandale exploratrice chaussée au pied d'un cheval au trot a l'avantage de mesurer des forces et des chocs réels qui s'exercent à l'interface pied/sol. Les appareils de mesure tels que les marteaux, pénétromètres ou presses hydrauliques ne peuvent pas reproduire exactement les mêmes sollicitations mécaniques que celles qu'exerce le pied sur le sol (PRATT, 1984 ; ZEBARTH, et al. 1984 ; 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 serons amenés à utiliser des capteurs plus légers n'interférant pas sur les mouvements rapides des membres.

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 courses, le dessin des courbes et l'inclinaison des virages sont des éléments importants à prendre en compte pour améliorer simultanément le confort locomoteur des chevaux et 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 fréquence 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 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** qui 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 II ces sols se situeraient vers la partie droite de l'intersection des axes.

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 (diminuent la fréquence) et consomment de la puissance musculaire. Parmi les deux modes d'amortissement mis en évidence figure III, 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 plus **adapté au travail de dressage** et procure par ailleurs une **bonne sécurité** pour l'enseignement des cavaliers débutants et pour la rééducation des chevaux convalescents (KILBY, 1987). **Les sols dotés d'un amortissement par frottements sont 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 cuir 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 courses** 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.

---\*---

## LEGENDE DES FIGURES

### FIGURE I

Schématisation des principaux évènements 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.

Schematic diagramm of the chief biomechanical events which occur during stance phase. The mechanical properties of the equestrian tracks are compared by measuring biomechanical parameters which describe the foot impact, the vertical hoof-forces and temporal stride characteristics.

### FIGURE II

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.

Correlation circle of the variables studied by the Principal Components Analysis. This statistical method makes a synthesis on the basis of all the informations available. The particular regrouping of the variables shows three mechanical phenomena : stiffness, friction damping and structural damping.

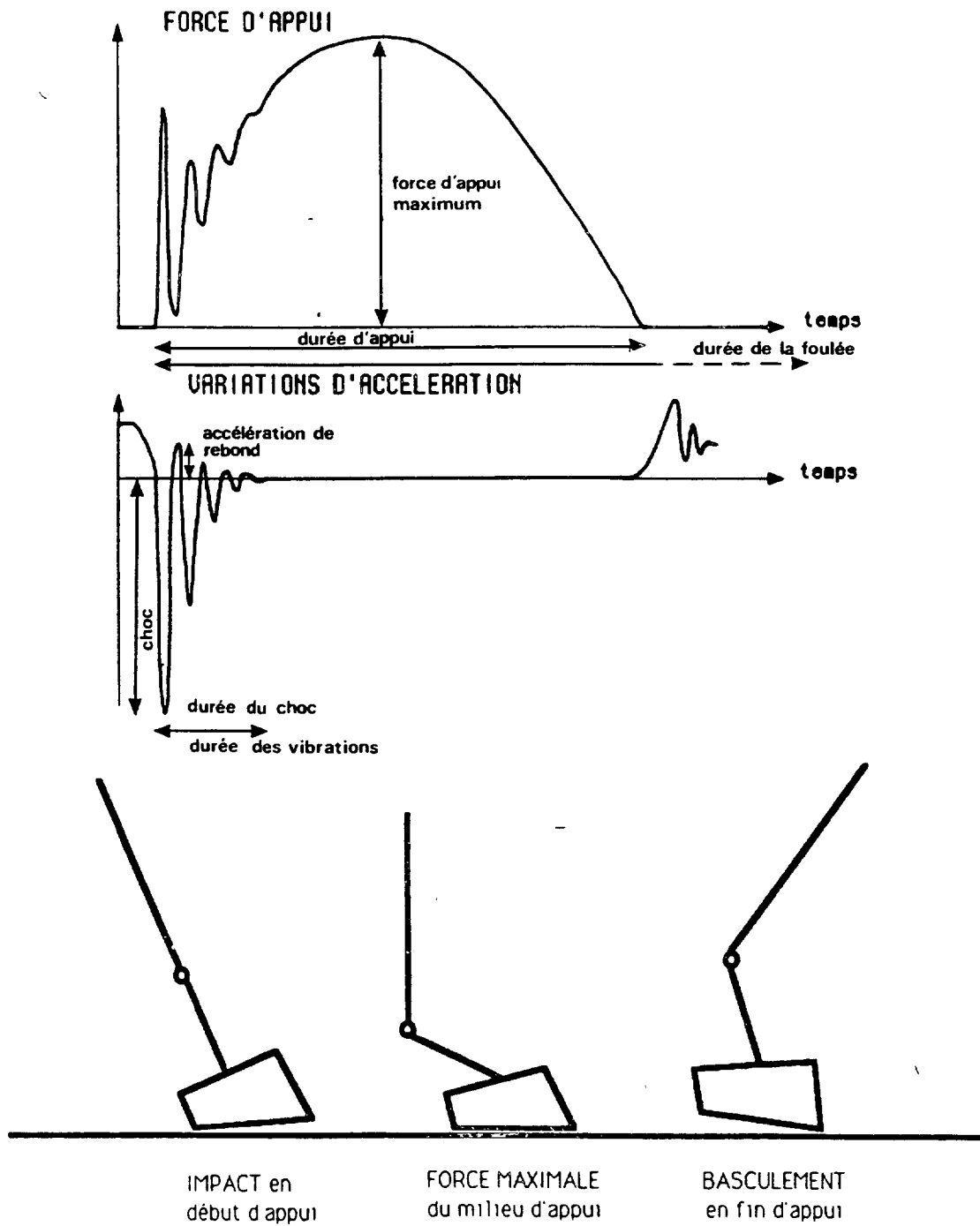
### FIGURE III

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 aspects mécaniques permet de mieux définir les qualités requises pour la pratique de telle ou telle discipline équestre.

The diagrams of the Principal Components Analysis (PCA) results. The different tracks tested are located in the plan lx2 of the PCA depending on the values of their parameters. The comparaison of the tracks regarding the three components of the soil mecanics reveals the adaptation of each type of track to each equestrian sport.

\*\*\*

**FIGURE I**  
**DIFFERENTES PHASES DE L'APPUI DU PIED:**  
exemple du trot.





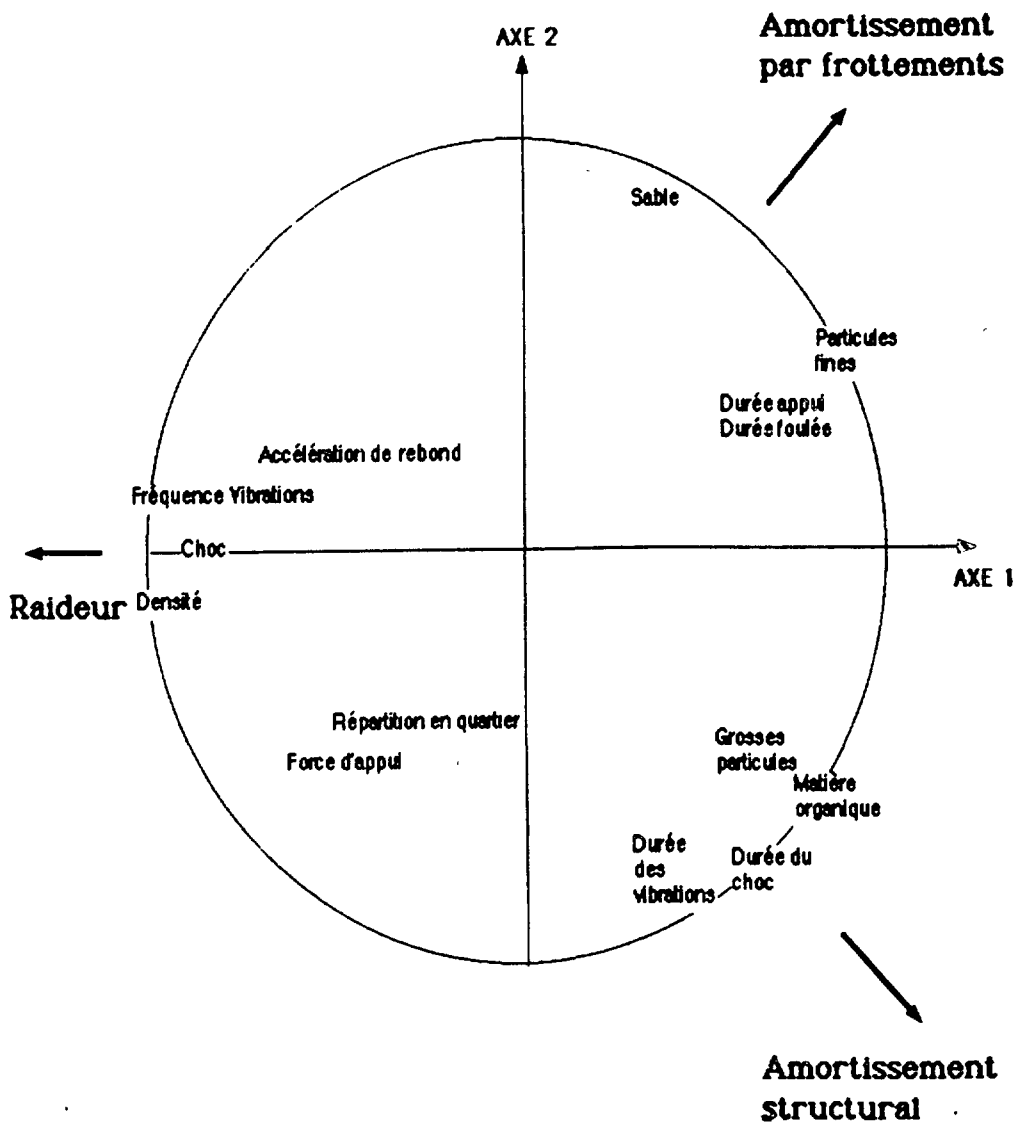
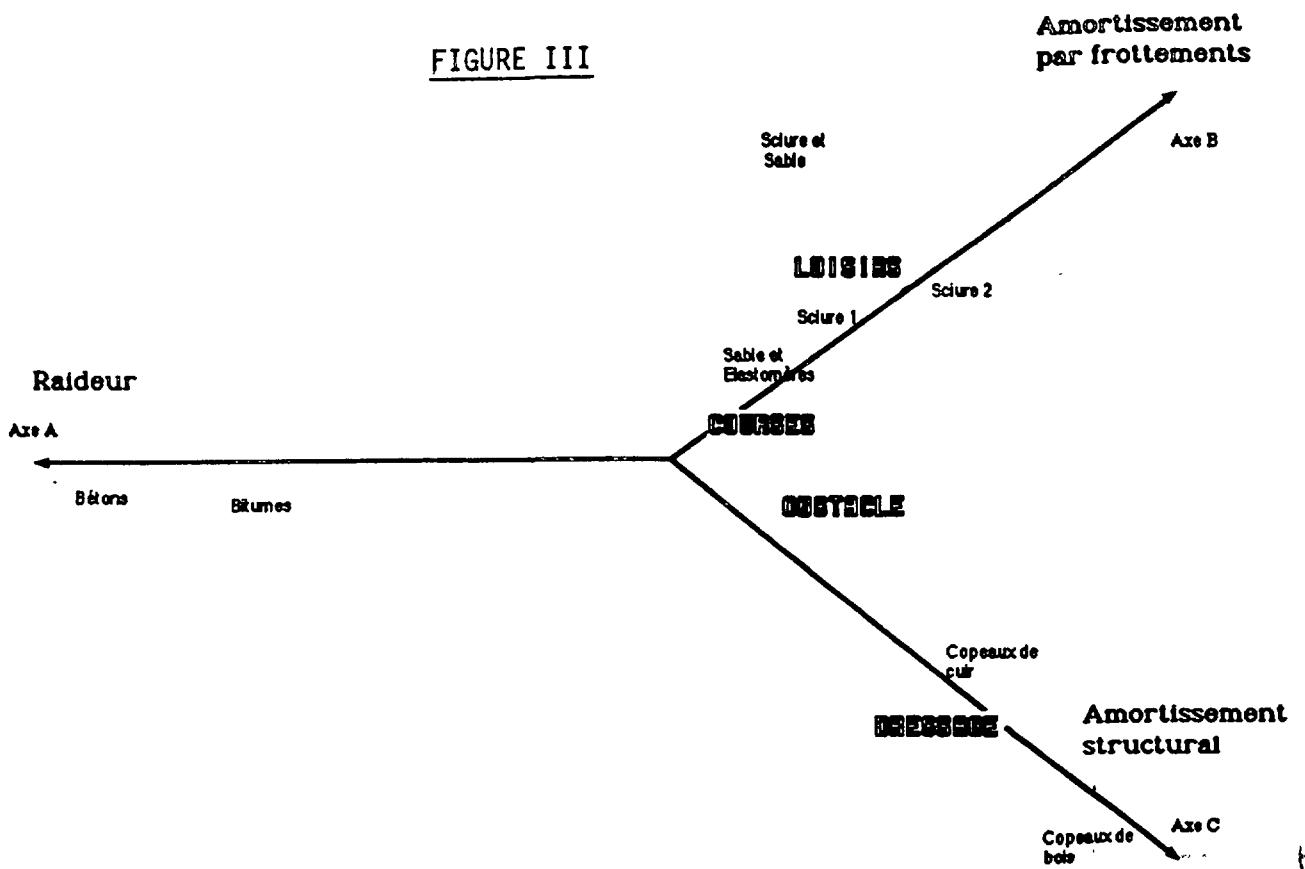


FIGURE III



## 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, Univ. de Louvain.

**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, pp. 27-42.

**BARREY E.** 1989

Investigation of the vertical hoof force distribution in the forelimb with a new measuring system, Equine Vet. J. (in press).

**BARREY E.** 1987 a

Foot biomechanics in the normal horse : a study of the hoof forces distribution in the forelimb. 5 th International Symposium of Biomechanics in Sports. 13-17 July 1987, Athens.

**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.

**FREDERICSON I., DALIN G., DREVEMO S., HJERTEN G.** 1975

Biotechnical approach to geometric design of racetracks - Equine Vet. J., 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 Vet. 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, n° 4, 778-784.

---\*---