

LES CAUSES D'ELIMINATION EN EPREUVES D'ENDURANCE EQUESTRE : ETUDE RETROSPECTIVE MENEES EN FRANCE EN 2001

INTRODUCTION	p 13
Première partie : INTOLERANCE A L'EXERCICE CHEZ LES CHEVAUX D'ENDURANCE	p 15
A . LES BOITERIES	p 15
1 . Aspects biomécaniques	p 15
2 . Les principales causes de boiteries	p 16
3 . Le rôle de l'entraînement	p 17
4 . La douleur : détection et conséquences	p 17
B . LES PERTES HYDRO-ELECTROLYTIQUES VIA LA THERMOREGULATION	p 18
1 . Thermorégulation et sudation	p 18
2 . Thermorégulation et fonction respiratoire	p 19
3 . Thermorégulation et appareil circulatoire	p 19
4 . Les pertes électrolytiques associées à la thermorégulation	p 20
4 . 1 . Le sodium	p 21
4 . 2 . Le potassium	p 22
4 . 3 . Le calcium	p 22
4 . 4 . Le magnésium	p 22
4 . 5 . Le chlore et les bicarbonates	p 23
C . LES PERTES ENERGETIQUES ET L'ACTIVITE MUSCULAIRE	p 23
1 . Les substrats énergétiques	p 23
2 . Le rôle de l'alimentation	p 25
3 . Les fibres musculaires et leur adaptation à l'exercice	p 26
D . LA FATIGUE ET LE METABOLISME MUSCULAIRE	p 28
1 . Les lactates et le pH musculaire	p 28
2 . Les ions dans le métabolisme musculaire	p 29
3 . La beta-oxydation des acides gras	p 29
4 . La chaîne respiratoire mitochondriale	p 30
5 . Les signes de fatigue	p 31
E . LES LIMITES RESPIRATOIRES A L'EXERCICE	p 31
F . LES LIMITES CARDIOVASCULAIRES A L'EXERCICE	p 35
1 . Les facteurs influençant la fréquence cardiaque	p 35
2 . Intérêt du monitoring cardiaque	p 35
3 . La récupération cardiaque	p 36
4 . Les effets de la mise en condition	p 36
G . LE SURENTRAINEMENT	p 37

Deuxième partie : REGLEMENTATION ET PLACE DU VETERINAIRE DANS LES RAIDS EQUESTRES D'ENDURANCE

p 39

A. OBJET DU REGLEMENT ET CHAMP D'APPLICATION	p 39
B. LES DIFFERENTES EPREUVES	p 39
1. Définition	p 39
2. Classification des épreuves	p 40
3. Epreuves nationales	p 40
4. Qualifications et classements	p 42
5. Organisation des épreuves	p 43
C. LES CHEVAUX	p 43
1. Documents à produire	p 43
2. Conditions d'âge	p 45
D. LES CONTROLES VETERINAIRES	p 45
1. Les vétérinaires présents en compétition	p 45
1.1 . La commission vétérinaire	p 45
1.2 . Le vétérinaire de service ou traitant	p 46
1.3 . Les vétérinaires préleveurs	p 46
1.4 . Les vétérinaires d'équipe	p 46
1.5 . Les vétérinaires privés	p 46
2. Le suivi vétérinaire	p 46
2.1. Les contrôles vétérinaires	p 47
2.2. Les différents examens	p 47
3. L' examen cardiaque	p 48
3.1. Les normes	p 48
3.2. Le test de Ridgway	p 49
3.2.1. Principe et réalisation du test	p 49
3.2.2. Interprétation	p 50
4. L'examen des allures	p 50
5. Contrôles des chevaux initial, intermédiaire(s) et final	p 51
5.1. Avant l'épreuve	p 51
5.2. Pendant l'épreuve	p 51
5.3. Contrôle final	p 52
E. PRINCIPALES ENTITES PATHOLOGIQUES RENCONTREES AU COURS DES RAIDS EQUESTRES D'ENDURANCE	p 52
1. « Coup de chaleur »	p 52
2. Myopathies	p 53
2.1. Etude clinique	p 53
2.2. Etiologie	p 53
3. Troubles rénaux	p 53
3.1. Etiologie	p 53
3.2. Conséquences	p 54
4. Flutter diaphragmatique synchrone	p 54
4.1. Etude clinique	p 54
4.2. Etiologie chez le cheval d'endurance	p 55

5. Coliques	p 56
6. Fourbure	p 57
6.1. Etude clinique	p 57
6.2. Etiologie	p 57
7. Syndrome du cheval épuisé	p 57
8. Boiteries	p 58

Troisième partie : ETUDE STATISTIQUE SUR LES PERFORMANCES DES CHEVAUX D'ENDURANCE EN 2001	p 61
A. DEFINITIONS	p 61
B. MATERIEL ET METHODES	p 61
C. RESULTATS	p 64
1 . Représentation des chevaux lors des épreuves d'endurance de l'année 2001	p 64
2 . Variation des taux d'élimination	p 65
3 . Les motifs d'élimination	p 67
4 . Etude des performances des chevaux par catégorie	p 70
D. DISCUSSION	p 73
1 . Analyse des résultats	p 73
2 . Discussion	p 75
CONCLUSION	p 78
ANNEXES	p 79
TABLE DES ILLUSTRATIONS	p 84
BIBLIOGRAPHIE	p 85

INTRODUCTION

Réaliser un exercice soutenu sur une longue distance sans préjudice représente pour le cheval d'endurance une grande performance. L'athlète d'endurance doit présenter une condition parfaite à la fois musculo-squelettique et métabolique (figure 1). Il doit aussi être volontaire, enthousiaste et expérimenté pour être performant au plus haut niveau. Les conditions climatiques, la difficulté des terrains, les variations d'altitude extrêmes et l'exercice intense prolongé sont autant d'obstacles à la performance des chevaux d'endurance.

La force des athlètes d'endurance réside principalement dans leur potentiel génétique et leur conformation. Cependant, l'entraînement et le conditionnement, la gestion de l'alimentation et le suivi médical sont indispensables pour de bons résultats en compétition. Un programme de mise en condition sain est souvent la meilleure alternative pour éviter l'intolérance à l'exercice lorsqu'aucune défaillance métabolique ou musculo-squelettique n'existe. Une connaissance de l'existence et du développement des facteurs limitant la performance permet de détecter les causes des défauts de performance, de fatigue et d'épuisement.

Dans un premier temps, nous étudierons les différentes causes et les mécanismes d'intolérance à l'exercice chez les chevaux d'endurance. Puis, nous envisagerons l'aspect réglementaire des courses d'endurance ainsi que la place et le rôle des vétérinaires au sein de ces compétitions. Enfin, la troisième partie sera consacrée à une étude statistique rétrospective sur les performances des chevaux, les causes d'élimination lors des raids d'endurance équestre en France pendant l'année 2001 en essayant d'apporter par la suite quelques conseils pour limiter les contre-performances.

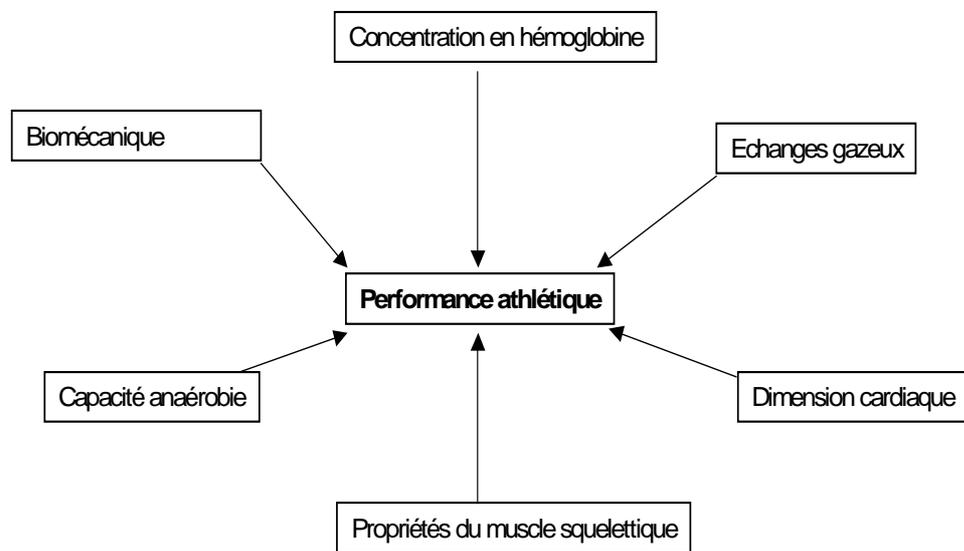


Figure 1 : *Facteurs physiologiques majeurs d'optimisation de la performance chez le cheval*

Première partie :

INTOLERANCE A L'EXERCICE CHEZ LES CHEVAUX D'ENDURANCE.

A . LES BOITERIES

1 . Aspects biomécaniques

Le système musculo-squelettique doit tolérer des conditions hostiles de terrain et une activité prolongée. De nombreuses forces s'appliquent sur les différentes structures des membres lorsque le pied se pose sur une surface irrégulière, fréquente lors des raids équestres. La résistance et la malléabilité des tissus musculo-squelettiques du cheval d'endurance sont acquis au cours d'un programme d'entraînement spécifique. La conformation de l'athlète joue un rôle important sur les forces dynamiques appliquées. Bien qu'une conformation adéquate soit souhaitable pour la compétition à haut niveau, elle ne garantit pas cependant l'efficacité métabolique.

Pour consommer le moins d'énergie possible, la foulée du cheval en déplacement doit être synchronisée et régulière. Durant le déplacement, lorsque le sabot entre en contact avec le sol, l'impact est transformé en énergie dans toutes les directions (68). Selon sa nature, le sol absorbe plus ou moins d'énergie, transférant au membre une force proportionnelle. Les surfaces dures absorbent peu d'énergie donc les forces appliquées sur les pieds, les os et les articulations sont importantes ; cependant, l'énergie se propage rapidement sur l'ensemble du membre et le mouvement est bref. D'autre part, les surfaces souples absorbent plus d'énergie, les tendons sont alors sollicités davantage : le mouvement est ainsi prolongé ce qui nécessite un coût en énergie supérieur. Ces deux situations sont fréquemment rencontrées au cours d'un même raid donc les systèmes métabolique et musculo-squelettique des chevaux d'endurance doivent s'adapter aux conditions extrêmes sans être victimes de lésions ni fatigue. Les différents tissus qui composent le système musculo-squelettique varient et s'adaptent en réponse à des facteurs internes et externes tels que la nutrition, les hormones, la mise en condition et les programmes d'entraînement. La charge mécanique appliquée sur les os a un effet ostéogénique proportionnel à la charge elle-même (32). La densité osseuse,

l'élasticité et la résistance à la tension sont des qualités développées au cours de la mise en condition (58). Des galops rapides augmentent la formation de corticale osseuse et la diversité de travail effectué et de terrains utilisés permet le développement d'un os plus massif (53). Les tendons et ligaments jouent un rôle primordial dans la mobilisation et la stabilisation des articulations ainsi que dans le stockage de l'énergie élastique. La résistance à la tension des tendons et ligaments augmente avec l'exercice (69). Une fatigue des fibres tendineuses peut se produire lors d'efforts répétés de grande intensité avec apparition de microtraumatismes au sein de ces structures tissulaires (38).

2 . Les principales causes de boiteries

Les boiteries chez les chevaux d'endurance sont la plupart du temps liées à des pieds malsains ou mal ferrés (61). Elles sont généralement mises en évidence en début de course. Des pieds asymétriques peuvent prédisposer à une charge anormale sur les articulations, les ligaments, les tendons et les os nécessitant ainsi des mouvements et des efforts compensatoires du cheval. Lorsque l'intensité de l'effort ou de la charge est supérieure à la tolérance de l'animal, des lésions temporaires ou permanentes peuvent apparaître. Ceci peut également se produire chez les jeunes chevaux d'endurance lors du passage à un programme d'entraînement intensif.

Les contusions de la sole sont fréquentes en raison des sols durs et irréguliers des courses et ce problème est souvent résolu par l'utilisation de fers à plaques (68). La desmite du ligament suspenseur du boulet, le syndrome naviculaire et l'arthropathie dégénérative sont communément observés chez les chevaux d'endurance. Une boiterie qui apparaît au tout début d'une course peut indiquer soit un problème orthopédique chronique soit une atteinte récente non encore soignée. Les myosites en début de course ne sont pas rares. Une myosite est suspectée lorsque la foulée est raccourcie, la fréquence cardiaque, le temps de récupération et le tonus musculaire sont augmentés ; le cheval peut avoir transpiré abondamment et une myoglobinurie peut être observée (55). Les boiteries identifiées en milieu et en fin de course sont souvent associées à un terrain dur, des pieds malsains, des pertes électrolytiques ou une mauvaise gestion du cheval par son cavalier. En effet, la compétition d'endurance implique le couple cavalier-cheval où le cavalier peut

occasionner une boiterie de sa monture si sa position en selle est asymétrique ou lorsqu'il est fatigué. Un temps froid ou la pluie favorisent l'apparition de crampes en l'absence de protection adéquate (par exemple couvrir les muscles gluteus avant le contrôle vétérinaire).

3 . Le rôle de l'entraînement

L'entraînement est responsable d'un certain niveau de fatigue tissulaire mais permet également l'adaptation des tissus à l'exercice en alternant les séances de travail ciblées soit sur la durée, la vitesse, la distance ou l'intensité de l'exercice. Certaines structures nécessitent davantage de temps pour se développer : les capacités musculaires et cardio-respiratoires se développent plus rapidement avec l'entraînement que les tendons, les ligaments et les os (45). L'entraînement permet aussi d'augmenter la flexibilité, la coordination, la force et la résistance nécessaires au mouvement et à l'économie d'énergie.

4 . La douleur : détection et conséquences

Les boiteries de faible grade peuvent être décelées par une fréquence cardiaque et un temps de récupération cardiaque augmentés (18). Une fréquence cardiaque supérieure au seuil escompté pour un exercice d'intensité donnée peut être détectée avant que la boiterie soit visible. Une douleur peut affecter l'équilibre et le synchronisme d'autres systèmes intervenant pendant l'effort, donc compromettre la performance et induire d'autres lésions.

Les boiteries occupent une part importante dans l'élimination des chevaux de compétition lors des contrôles vétérinaires. Certaines boiteries liées aux tissus mous peuvent s'améliorer au cours de la course et pour cette raison, les boiteries de faible grade doivent être considérées avec prudence lors de l'évaluation et avant élimination.

B . LES PERTES HYDRO-ELECTROLYTIQUES VIA LA THERMOREGULATION

1 . Thermorégulation et sudation

Au cours d'un travail continu et d'un déplacement, il y a production de chaleur par l'organisme. 70% à 80% de l'énergie produite se transforme en chaleur et peut augmenter la température corporelle de 3°C à 4°C au dessus des valeurs usuelles (5). La majeure partie de la chaleur dissipée (65% de la chaleur totale produite) l'est par évaporation de la sueur ce qui représente au cours d'une course une perte volumique d'environ 5% à 6% du poids du corps (5). La quantité de sueur produite est variable en fonction des conditions climatiques. Outre l'évaporation, les pertes de chaleur se font par convection, dissipation et radiation (figure 2).

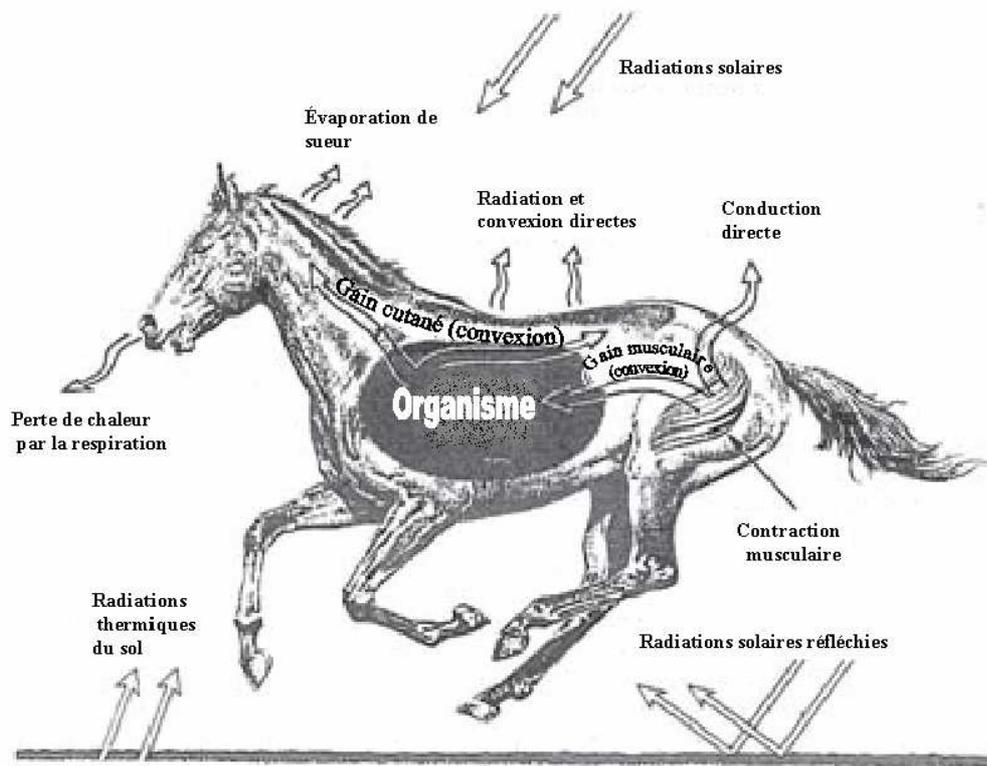


Figure 2 : Mécanismes de transfert de chaleur corporelle du cheval au cours de l'exercice. Gain de chaleur par production musculaire et radiation de l'environnement. Dissipation de chaleur par évaporation, convection, conduction. (d'après «The Athletic Horse » 1994, p187).

Pendant l'exercice, la vasodilatation des vaisseaux superficiels facilite la déperdition de chaleur par augmentation de la surface de contact avec l'extérieur. La sueur permet l'élimination de la chaleur corporelle du cheval mais entraîne également des pertes hydro-électrolytiques considérables. Lors des compétitions d'endurance, les chevaux peuvent perdre 10 à 15 litres de fluides par heure (5). Si le temps est à la fois chaud et humide, la quantité de sueur produite pour augmenter les déperditions de chaleur sera supérieure mais la thermorégulation sera inefficace (figure 7 en annexe). Pratiquement, lorsque la température et l'humidité ambiantes s'additionnent pour dépasser 110°C, les conditions sont considérées comme défavorables pour un raid d'endurance, exposant les chevaux à l'épuisement (30).

2 . Thermorégulation et fonction respiratoire

Les artères carotide et pulmonaire interviennent dans les échanges de chaleur via la circulation pulmonaire. Pour 40% de la consommation maximale en oxygène, environ 30% de la chaleur corporelle peut être évacuée par les échanges pulmonaires entre le sang et l'air extérieur (25). Cette voie peut être compromise par la déshydratation car la viscosité sanguine augmente. Pour lutter contre l'hyperthermie, la fréquence respiratoire augmente alors dans un second temps mais le coût métabolique est supérieur.

3 . Thermorégulation et appareil circulatoire

La déshydratation est préjudiciable pour les athlètes d'endurance. Au cours de l'exercice, de grands volumes sanguins sont nécessaires aux muscles pour les échanges gazeux rapides, l'approvisionnement en substrats énergétiques et l'élimination des déchets métaboliques (41). L'hyperthermie entraîne une tachycardie donc une augmentation du flux sanguin périphérique superficiel nécessaire aux échanges thermiques.

Certains chevaux s'essouffent plus vite par temps chaud et humide. Ces animaux ont une fréquence cardiaque (FC) plus élevée que la moyenne mais leur *temps de récupération (=temps nécessaire pour retrouver la FC initiale)* est normal malgré cette « inversion » (i.e., la fréquence respiratoire est supérieure à la fréquence cardiaque). Dans ce cas, il est recommandé de prendre la température

rectale et de confirmer la capacité du cheval à contrôler l'hyperthermie et la déshydratation. Les taux de lactates sanguins augmentent en réponse aux demandes énergétiques importantes de la thermorégulation (37). Ainsi, les modifications des paramètres sanguins peuvent diminuer les déperditions de chaleur et altérer l'efficacité des tissus les plus sensibles .

Un exercice intense peut entraîner une baisse du flux sanguin dans certaines zones comme le tube digestif induisant l'apparition de coliques (23). Lors d'une déshydratation durable, la viscosité sanguine augmente donc la perfusion des organes vitaux et des muscles est réduite : cet état peut s'accompagner d'une baisse de l'activité motrice, d'un moindre besoin en énergie et d'une diminution de la transpiration. Si ces premiers signaux d'alerte ne sont pas décelés, l'épuisement peut survenir rapidement.

L'état d'hydratation peut être évalué par un examen physique, la quantité de sueur produite, le degré de dépression et l'anorexie.

4 . Les pertes électrolytiques associées à la thermorégulation

Des carences électrolytiques sont suspectées lors de contractures ou de fasciculations musculaires, de dépression, d'arythmie cardiaque ou de flutter diaphragmatique synchrone (voir deuxième partie : E.4). La sueur du cheval est plus riche en sodium, potassium, chlorures, calcium et magnésium que le plasma (5), (9), (50), (tableau 1).

	Na+	K+	Cl-
Sueur	180	63	233
Plasma	139	3.7	100

Tableau 1 : Composition électrolytique de la sueur et du plasma équins en mmol/l. (d'après «The Athletic Horse», 1994, p184).

Pendant un exercice prolongé, la quantité d'électrolytes perdue est constante donc conséquente. De grandes quantités d'eau et d'électrolytes peuvent être apportées à l'animal lors de longues périodes d'exercice en habituant le cheval à s'abreuver fréquemment pendant la course et en lui proposant des concentrés électrolytiques adéquats et rapidement absorbés. Certains chevaux refusent de boire

pendant les 30 premiers kilomètres donc il n'est pas rare de constater des signes cliniques de déshydratation en début de course (12). Le taux de perte hydrique peut dépasser 2% de la masse corporelle par heure (11), (12). L'anxiété diminuant tout au long de la course, la consommation d'eau tend à augmenter s'accompagnant ainsi d'une amélioration de l'état d'hydratation lors des contrôles vétérinaires suivants.

Plusieurs présentations commerciales d'électrolytes sont disponibles sur le marché bien que certaines n'aient pas une concentration adéquate en sodium, chlorures, potassium, calcium ou magnésium pour compenser les déficits (56). En général, les électrolytes sont administrés à la seringue la nuit précédant la course, deux heures avant et environ 30 kilomètres après le départ. L'intubation nasogastrique avec administration d'eau et d'électrolytes est un moyen efficace pour aider le cheval à lutter contre la déshydratation et l'épuisement.

La supplémentation en électrolytes doit être accompagnée d'ingestion d'eau pour éviter les effets osmotiques dans la lumière gastro-intestinale et une aggravation de la déshydratation. En pratique, les électrolytes sont administrés après la phase de récupération juste avant que le cheval reprenne le départ et après un abreuvement suffisant. L'administration de glycérol ne présente pas d'intérêt et entraîne même des pertes électrolytiques plus importantes dans les urines en comparaison à la supplémentation avec des électrolytes seuls (56). Un refus d'abreuvement ou d'alimentation est un signe d'épuisement ou de dépression du système nerveux central.

4 . 1 . Le sodium

Les pertes en sodium sont considérables car cet ion accompagne l'eau lors de son élimination dans la sueur. Cependant, les concentrations plasmatiques en sodium restent relativement constantes car les pertes hydriques et sodiques sont équivalentes (5), (13), (51), (63). Les carences en sodium affectent l'appareil circulatoire et la perfusion des organes car cet ion joue un rôle primordial dans l'homéostasie, en permettant les échanges ioniques et les mouvements d'eau dans les différents compartiments de l'organisme (6).

4 . 2 . Le potassium (figure 7 en annexe)

Les pertes importantes en potassium entraînent une vasoconstriction intramusculaire et par conséquent, une diminution de la perfusion et de l'oxygénation du muscle prédisposant l'animal à la rhabdomyolyse (10). L'hypokaliémie est aussi responsable d'arythmies cardiaques et d'irritabilité musculaire par altération des potentiels de membrane (8). Lorsqu'elle est associée à une alcalose, l'hypokaliémie déclenche une stimulation du nerf vague, une tachycardie et un ileus.

4 . 3 . Le calcium

La sueur des équidés est très concentrée en calcium et lors d'un exercice prolongé, la diminution des concentrations calciques plasmatiques peut affecter la diffusion du sodium et le potentiel de membrane, entraînant une hypercontraction du muscle squelettique. Un flutter diaphragmatique synchrone peut apparaître lorsque l'hypocalcémie est associée à une alcalose avec hypochlorémie (50). Ce flutter diaphragmatique synchrone est caractérisé par un mouvement convulsif visible du flanc et une contraction du diaphragme associés de façon simultanée à une dépolarisation atriale donc à chaque battement cardiaque (21). Ainsi, la dépolarisation cardiaque crée une inflammation partielle du nerf phrénique rendu hyper-irritable du fait de son trajet proche de l'atrium : il s'en suit une contraction du diaphragme à chaque stimulation du nerf. Cette affection n'est pas rare chez les chevaux d'endurance et ne peut pas être évitée malgré une bonne gestion de l'alimentation ou de l'abreuvement pendant les courses. Le problème rétrocede généralement par l'administration intraveineuse de supplément calcique.

4 . 4 . Le magnésium

Le magnésium joue un rôle fondamental dans le métabolisme cellulaire, plus particulièrement dans la stabilité du potentiel de membrane du tissu nerveux. Il contrôle la production et la dégradation de l'acétylcholine, et une carence en magnésium peut entraîner une irritabilité neuromusculaire. Ainsi, l'activation et/ou le fonctionnement des enzymes métaboliques, des hydrates de carbone et des lipides

dépend de la présence du magnésium et de son rôle dans la formation de l'adénosine triphosphate (ATP), source d'énergie indispensable (6).

4 . 5 . Le chlore et les bicarbonates

Le travail d'endurance s'effectue essentiellement en aérobie (50), ce qui est confirmé par une faible augmentation du taux de lactates sanguins (36). Par conséquent, une acidose métabolique observable cliniquement n'est pas fréquente en course d'endurance même s'il arrive parfois d'observer des cas de rhabdomyolyses suite à l'exercice (31). D'autre part, une transpiration importante s'accompagne d'une perte considérable en chlorures compensée par une réabsorption rénale des bicarbonates susceptible d'entraîner une alcalose métabolique (17). Une alcalose métabolique tend à être d'autant plus profonde que la température et l'humidité ambiantes sont importantes.

C . LES PERTES ENERGETIQUES ET L'ACTIVITE MUSCULAIRE

Les meilleures performances des chevaux ne seront obtenues que sous réserve d'une mise en condition adéquate et d'une alimentation suffisante et équilibrée pour apporter tous les substrats métaboliques intermédiaires et l'énergie nécessaires au travail. L'un des facteurs limitants chez le cheval d'endurance est sa capacité à stocker et utiliser l'énergie. Par conséquent, il est nécessaire d'augmenter la densité énergétique de la ration proportionnellement à l'intensité du travail pour maintenir une réserve grasseuse et un niveau de glycogène musculaire minimaux (6). D'autre part, un excès d'embonpoint, en diminuant les déperditions de chaleur, peut entraîner un stress thermique.

1 . Les substrats énergétiques

Le glucose et la matière grasse peuvent être utilisés de manière simultanée au cours de l'effort d'endurance (figure 3) mais leur ratio d'utilisation dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice aussi bien que de la condition physique de l'animal (33), (59). La fatigue musculaire peut survenir lors d'une diminution des réserves de glycogène ou d'une accumulation d'acide lactique dans le muscle

pendant l'exercice. Les chevaux présentent habituellement des réserves importantes de glycogène dans le muscle. Cependant, lors des compétitions d'endurance, le glycogène musculaire peut diminuer de 50% à 100% d'où l'apparition de la fatigue (59). Ainsi, il est important de nourrir l'athlète pendant la course et pendant les périodes de récupération pour lui donner la possibilité de renouveler une partie de l'énergie consommée tout au long de l'épreuve. Un contrôle vétérinaire bref et objectif est réalisé à chaque période de récupération. Pendant l'exercice, la concentration en glucagon augmente et on note paradoxalement une baisse de la concentration plasmatique en glucose car ses précurseurs tels que le lactate, le pyruvate et le glycérol interviennent préférentiellement dans la glycogénogenèse hépatique (36).

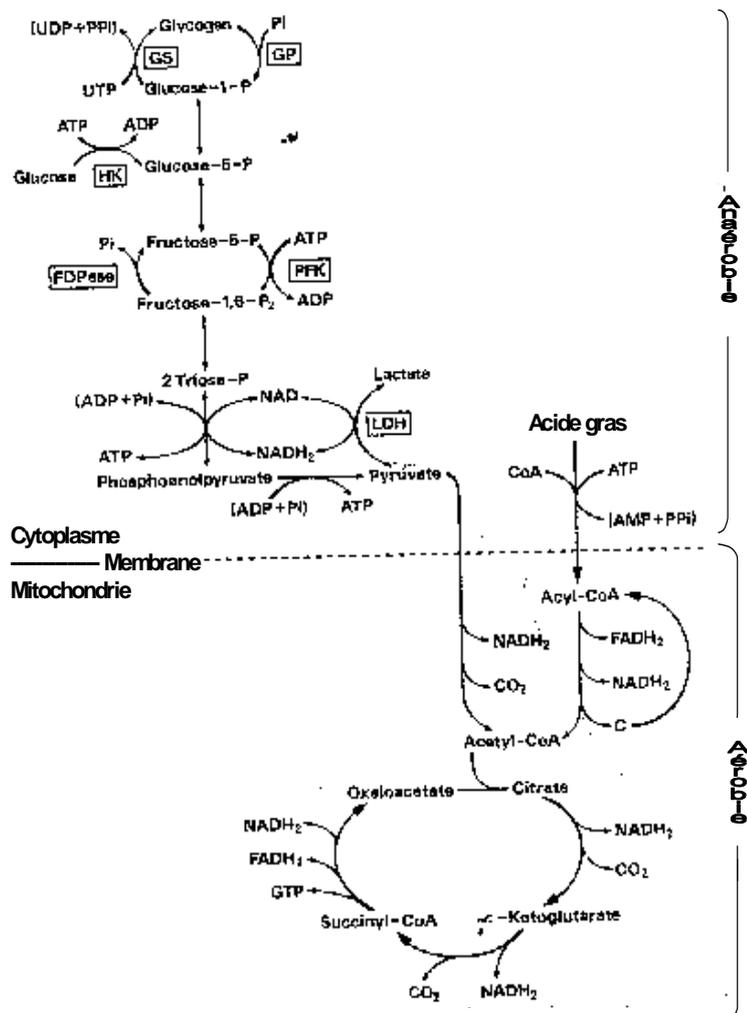


Figure 3 : Glycolyse, oxydation des acides gras et cycle de Krebs (d'après « The Athletic Horse », 1994, p51)

Adenosine triphosphate (ATP), guanosine triphosphate (GTP), uridine triphosphate (UTP), adénosine diphosphate (ADP), adénosine monophosphate (AMP), coenzyme A (CoA), orthophosphate (P_i), pyrophosphate (PP_i), glucose-1-phosphate (G-1-P), glucose-6-phosphate (G-6-P), fructose-6-phosphate (F-6-P), fructose-1,6-diphosphate (F-1,6-P₂), nicotinamide-adénine-dinucléotide (NAD), flavine-adénine-dinucléotide (FAD), glycogène synthétase (GS), glycogène phosphorylase (GP), hexokinase (HK), phosphofructokinase (PFK), fructose-diphosphatase (FDPase), lactate déshydrogénase (LDH).

La graisse représente la plus grande réserve énergétique chez le cheval d'endurance. Les acides gras libres sont des substrats énergétiques importants : ils proviennent du sang ou des dépôts de triglycérides contenus dans les fibres musculaires. La capacité à oxyder ces acides gras libres s'accroît avec l'entraînement. Une fois le glycogène consommé, l'intensité de l'exercice ne peut être maintenue que si les acides gras libres sont libérés en quantité suffisante et utilisés (62). Cependant, l'oxydation des graisses diminue en l'absence d'hydrates de carbone.

La demande énergétique augmente proportionnellement à l'intensité et la durée de l'exercice, de 25% à 100% de plus que le besoin énergétique de base (7). Alors que les réserves en glycogène s'amenuisent, la concentration plasmatique en glucose augmente, fournissant 75% des hydrates de carbone utilisés. L'utilisation du substrat dépend de la disponibilité de la source d'énergie et de l'oxygène. Pour un exercice de faible intensité et de longue durée, la graisse est la source d'énergie principale, alors que pour un exercice très intense, c'est le glycogène qui est utilisé en plus grande quantité (33). La mise en condition permet d'augmenter l'utilisation des graisses plutôt que du glycogène au cours d'un exercice submaximal (59). Pendant le raid d'endurance, les variations d'allures (i.e. du trot au petit galop) sollicitent différents groupes de muscles impliqués dans la locomotion : ainsi, alternativement, les muscles au repos éliminent leurs déchets métaboliques tandis que d'autres groupes musculaires libèrent leur énergie emmagasinée nécessaire au mouvement.

2 . Le rôle de l'alimentation

Lorsqu'on augmente de 10% donc de manière progressive la quantité de graisse contenue dans les rations de concentrés destinés aux chevaux de sport, la quantité d'aliment nécessaire à la couverture des besoins énergétiques et au maintien de l'état du cheval diminue et s'accompagne également d'une diminution du risque de désordres digestifs et de fourbure (27). De plus, la graisse libère davantage d'énergie disponible pour la voie aérobie, augmente la concentration et la réplétion du glycogène dans le muscle (sous réserve que la supplémentation en graisse soit progressive sinon l'effet est inverse (27) car les réserves musculaires et hépatiques sont épargnées, retarde l'apparition de la fatigue, diminue les

concentrations en lactates au cours de l'exercice, et diminue les concentrations plasmatiques en lipides car le type d'entraînement des chevaux favorise l'utilisation rapide des acides gras par le muscle en activité et le maintien d'une bonne condition physique (39), (42). Les réserves de glycogène, quant à elles, accroissent les performances musculaires en produisant l'énergie par la voie anaérobie (figure 3) et les autres activités métaboliques coûteuses en énergie telles que les déperditions de chaleur.

3 . Les fibres musculaires et leur adaptation à l'exercice

Il existe différents types de fibres musculaires classées selon leur couleur, leurs propriétés contractiles et leur capacité oxydative. Les caractéristiques de chaque type de fibres sont présentées dans le tableau 2. Une corrélation existe entre d'une part la proportion des différents types de fibres musculaires et la taille de ces fibres et d'autre part la performance des chevaux d'endurance. Les meilleurs chevaux présentent des pourcentages élevés et des tailles importantes de fibres de types I et IIa : ces caractéristiques signent une grande capacité oxydative donc une grande capacité à produire de l'énergie (39), (60). Un recrutement progressif de fibres de type IIb à partir de fibres de type I s'opère de façon concomitante à un appauvrissement en glycogène dans la même séquence de fibres (26).

Le ratio muscles de type I / muscles de type II est stable au sein d'une race donnée et est largement influencé par la génétique car il ne peut pas être modifié par l'entraînement. Cependant, les fibres de type II peuvent accroître leur capacité oxydative et leurs propriétés contractiles à une intensité d'entraînement donnée (34), (35). Avec un entraînement de fond régulier, le pourcentage de fibres de type IIa augmente (de 25% en moyenne) alors que celui des fibres IIb diminue (de 80% en moyenne). L'entraînement n'a aucun effet significatif sur le pourcentage de fibres de type I, mais en revanche, il s'accompagne d'une augmentation du diamètre moyen des fibres de types I et IIa (de 13% et 10% respectivement). Donc, suite à un entraînement d'endurance prolongé, le muscle s'adapte en augmentant sa résistance à la fatigue et sa force de contraction avec d'importantes répercussions sur les performances athlétiques du cheval (46).

	TYPE I	TYPE IIA	TYPE IIB
Vitesse de contraction	Lente	Rapide	Très rapide
Tension maximale supportée	Faible	Elevée	Elevée
Activité myosine-ATPase à pH 9.4	Faible	Elevée	Elevée
Activité myosine-ATPase à pH 9.4 après pré-incubation acide	Elevée	Faible	Intermédiaire
Capacité oxydative	Elevée	Elevée à intermédiaire	Intermédiaire à faible
Contenu lipidique	Elevé	Intermédiaire	Faible
Capacité glycolytique	Faible	Elevée	Elevée
Contenu en glycogène	Intermédiaire	Elevé	Elevé
Nombre de fibres musculaires par unité motrice	Faible	Elevé	Elevé
Fatigabilité	Faible	Intermédiaire	Intermédiaire à élevée

Tableau 2 : Caractéristiques des différents types de fibres musculaires chez le cheval (d'après « *The Athletic Horse* », 1994, p154).

La capacité à maintenir un exercice prolongé peut être corrélée à la capacité de transformer l'énergie chimique en énergie mécanique nécessaire à la contraction musculaire donc au mouvement (38), (57). Parmi les adaptations majeures du muscle à l'exercice d'endurance, on note : une augmentation de la capillarisation pour faciliter les échanges gazeux et l'apport des substrats comme l'oxygène et le lactate, une plus grande capacité de stockage des graisses et du glucose, une concentration en enzymes musculaires plus élevée (oxydation des graisses et glycolyse : figure 3), une densité mitochondriale augmentée dans les muscles les plus sollicités d'où une meilleure capacité oxydative, une production de protéines cellulaires plus importante pour augmenter la perméabilité des cellules musculaires (14), (38), (57).

Les vitesses lors des compétitions d'endurance sont de plus en plus élevées donc nécessitent un certain degré de travail anaérobie. Lorsqu'une défaillance cardiorespiratoire survient, les cellules musculaires ne sont plus correctement approvisionnées en oxygène, alors se met en place la voie anaérobie. Le

développement d'une plus grande capacité de stockage du glycogène, des enzymes glycolytiques, et du métabolisme du lactate contribue à l'utilisation de cette importante source d'énergie améliorant la performance.

D . LA FATIGUE ET LE METABOLISME MUSCULAIRE

1 . Les lactates et le pH musculaire

La rhabdomyolyse est une pathologie fréquemment rencontrée lors des compétitions d'endurance. Elle est associée à une augmentation de la concentration plasmatique en une enzyme dérivée du muscle : la créatine kinase (49). L'hypoxémie, en entraînant une augmentation des lactates sanguins (figure 7 en annexe) et en diminuant le pH cellulaire dans le muscle pourrait être à l'origine de la libération des enzymes cellulaires dans la circulation sanguine (67). Cependant, l'augmentation de la créatine kinase peut être une conséquence physiologique d'un travail de fond associée à une modification de la perméabilité sélective des membranes cellulaires sans pour autant indiquer une atteinte musculaire (1), (29). Un entraînement régulier s'accompagne d'une diminution de la concentration plasmatique de cette enzyme ce qui suggère l'acquisition d'une plus grande capacité de barrière des membranes cellulaires lors de l'exercice.

Le lactate et les ions hydrogène (H⁺) diffusent normalement des muscles vers la circulation sanguine, évitant ainsi l'accumulation, puis sont métabolisés par le foie dans le but de recycler l'énergie qui pourra être réutilisée par la suite. Lorsque la production de ces ions augmente avec l'intensité de l'exercice, les lactates s'accumulent et provoquent une diminution du pH musculaire (33). La déshydratation peut favoriser et amplifier le phénomène. La mise en condition et l'endurance des chevaux accroît la tolérance à l'accumulation lactique et au faible pH musculaire. Les chevaux qui ne sont pas habitués à un exercice prolongé et d'intensité élevée peuvent présenter une lactatémie importante, préjudiciable à la performance et à la récupération cardiaque. A l'opposé, les chevaux conditionnés ne montrent habituellement pas des concentrations supérieures aux seuils anaérobies (52).

2 . Les ions dans le métabolisme musculaire

Le calcium est indispensable à la contraction et la relaxation musculaires ainsi qu'au maintien des concentrations sodiques dans les cellules nerveuses. Donc toute perturbation relative au calcium entraînera un dysfonctionnement musculaire. Une altération du sarcolème déclenche une décharge de calcium et une hypercontraction secondaire des fibres musculaires striées, une accumulation d'acide lactique et une nécrose cellulaire. Paradoxalement, une hypocalcémie entraîne une diffusion spontanée du sodium dans les cellules nerveuses : il en résulte l'apparition de contractions involontaires des muscles. Certains chevaux sujets aux rhabdomyolyses chroniques intermittentes ont des seuils insuffisants de calcium induisant la libération du calcium dans le réticulum sarcoplasmique , ce qui laisse supposer une régulation anormale du calcium (3).

Le potassium intervient dans la régulation du flux sanguin au sein du muscle en activité. Pendant l'exercice, le potassium contenu dans les cellules musculaires est libéré et provoque une dilatation des artérioles locales et une augmentation du flux sanguin. Lorsque le potassium extracellulaire diminue, la contraction des sphincters précapillaires qui en résulte limite l'apport en oxygène et en nutriments aux cellules musculaires. Ce même mécanisme entraîne une diminution de l'élimination des lactates qui s'accumulent donc dans le muscle (24). De faibles concentrations musculaires en potassium peuvent également induire une altération des potentiels de membrane et une excitabilité musculaire.

L'irritabilité musculaire peut s'expliquer par l'élimination du calcium et du magnésium via la sueur ou par une augmentation du pH musculaire. La fatigue neurale s'explique par la répétition d'influx entraînant une diminution du nombre de neurotransmetteurs ou une hyperpolarisation membranaire liée à une baisse du potassium intracellulaire (38).

3 . La beta-oxydation des acides gras

Le muscle est généralement le tissu le plus affecté par un défaut d'oxydation des acides gras. Le catabolisme des acides gras est catalysé par le système beta-oxydatif dans la matrice mitochondriale. La dégradation des acides gras libres du

tissu adipeux et des triglycérides intra-musculaires se fait en plusieurs étapes (figures 3 et 3') :

- activation de l'acide gras en acyl-coenzymeA avec consommation d'un ATP : étape cytoplasmique, anaérobie,
- transfert intramitochondrial par couplage à une molécule de carnitine,
- bêta-oxydation mitochondriale, aérobie : dissociation avec obtention à chaque fois d'un acétyl-coenzymeA, d'un radical acyl-coenzymeA, d'un NADH ,H+ et d'un FADH₂. La succession de bêta-oxydations est encore appelée « hélice de Lynen ».

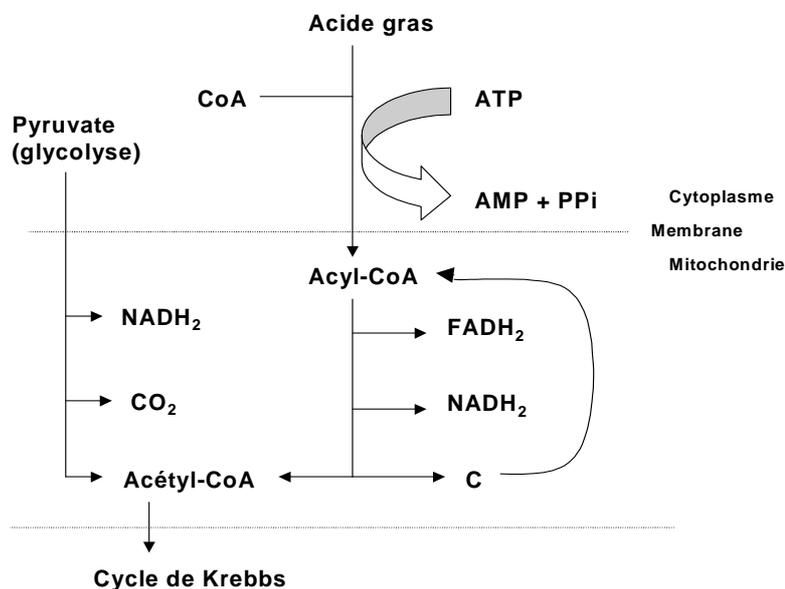


Figure 3' : oxydation des acides gras

Adenosine triphosphate (ATP), adénosine monophosphate (AMP), coenzyme A (CoA), pyrophosphate (PP₁), nicotinamide-adénine-dinucléotide (NAD), flavine-adénine-dinucléotide (FAD).

Les défauts d'oxydation ont été corrélés avec des anomalies de la carnitine palmitoyl-transférase et du métabolisme de la carnitine (55).

4 . La chaîne respiratoire mitochondriale

L'oxygène total disponible diminue après un exercice prolongé sans variation de la fréquence ni du débit cardiaques. Un exercice soutenu entraîne une altération

de la respiration mitochondriale par désorganisation de la chaîne respiratoire. Le mécanisme exact reste inconnu cependant, l'augmentation des lactates et la diminution du pH associées à d'autres facteurs comme la formation de radicaux libres, la peroxydation des lipides et l'élévation du calcium intracellulaire ont une part importante dans le processus (22).

5 . Les signes de fatigue

Les chevaux affectés sont généralement identifiés dès les premiers stades de la compétition. Ils sont souvent anxieux, présentent des signes de douleurs, suent abondamment, montrent des fréquences cardiaque et respiratoire élevées, des tremblements musculaires, des difficultés à se déplacer ou un refus de se lever, une posture anormale, parfois même une boiterie franche ou une myoglobulinurie (55). Les crampes musculaires plus tard dans la course sont vraisemblablement associées à des carences électrolytiques et/ou une accumulation de lactates avec un défaut de perfusion musculaire et une oxygénation tissulaire limitée.

E . LES LIMITES RESPIRATOIRES A L'EXERCICE

L'une des fonctions les plus importantes de l'appareil respiratoire au cours de l'exercice est d'optimiser les échanges gazeux (de l'oxygène atmosphérique dans le sang et du dioxyde de carbone dans le sens inverse), de maintenir une homéostasie acido-basique avec un minimum de dépense énergétique (2). La production d'énergie par voie aérobie via la fréquence cardiaque, le volume sanguin et l'extraction de l'oxygène par le muscle résulte d'une chaîne complexe de transport d'oxygène (figure 4). L'efficacité de la ventilation joue un rôle direct sur la capacité d'exercice : elle ne peut pas seule maintenir l'homéostasie pendant l'effort ce qui entraîne un remplissage alvéolaire en oxygène plus faible, une hypoxémie et un recours au métabolisme anaérobie. Ainsi, le développement des capacités anaérobies de l'organisme sera déterminant dans la réduction ou la stabilisation de la performance.

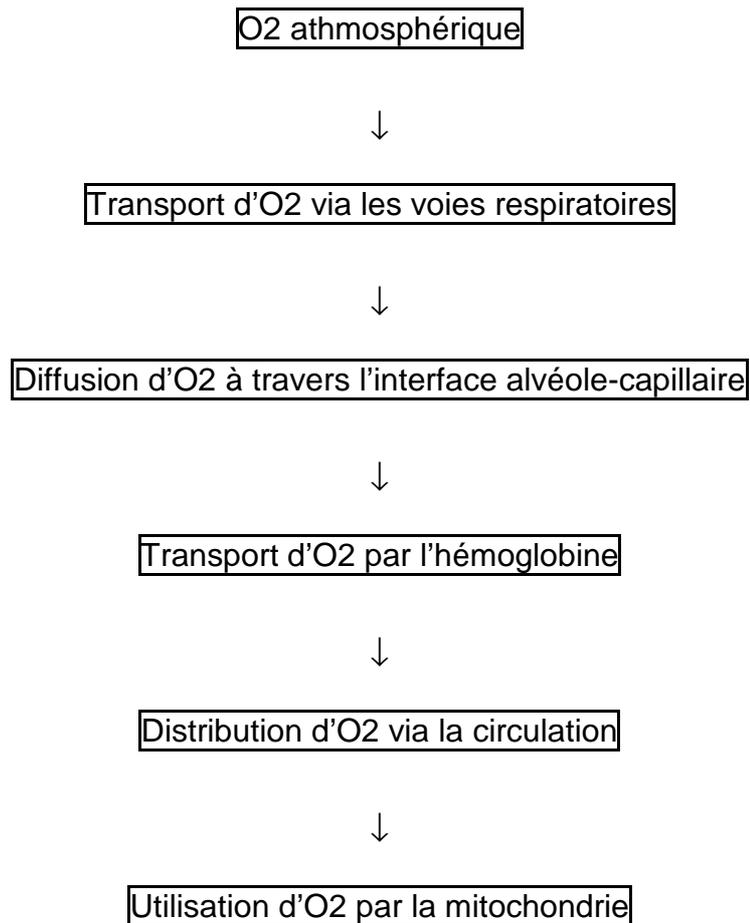


Figure 4 : La chaîne de transport de l'oxygène avec ses différentes étapes (de l'air inspiré à l'utilisation finale par la mitochondrie). D'après « *The Athletic Horse* », 1994, p5.

La fréquence respiratoire, le *volume tidal* (= *volume respiratoire courant*) et la perfusion pulmonaire augmentent avec l'exercice. Diverses adaptations anatomiques des voies respiratoires supérieures permettent d'accroître les échanges pulmonaires : diminution de la résistance inspiratoire par vasoconstriction des muqueuses, dilatation des naseaux et abduction complète des cartilages arythénoïdes, amélioration de la ventilation alvéolaire par augmentation de la fréquence respiratoire et du volume tidal donc diminution de l'*espace mort physiologique* (= *voies de conduction de l'air sans alvéoles + alvéoles sans leurs zones d'échanges perfusées*)...(2). La résistance de la circulation pulmonaire diminue pour compenser l'augmentation du débit cardiaque et éviter ainsi l'hypertension.

L'approvisionnement en oxygène est limité par la ventilation, la perfusion et la diffusion (figure 5). Les échanges gazeux se font toujours dans le sens d'un équilibre des pressions partielles. Cependant, si le flux sanguin est trop intense, la diffusion et les échanges gazeux n'ont pas le temps de se faire et une hypoxie s'installe. Les chevaux sont plus sujets à l'hypoxémie et l'hypercapnie que les poneys pour une charge de travail identique donnée (28) car souvent, leur demande métabolique dépasse la capacité de leur système respiratoire.

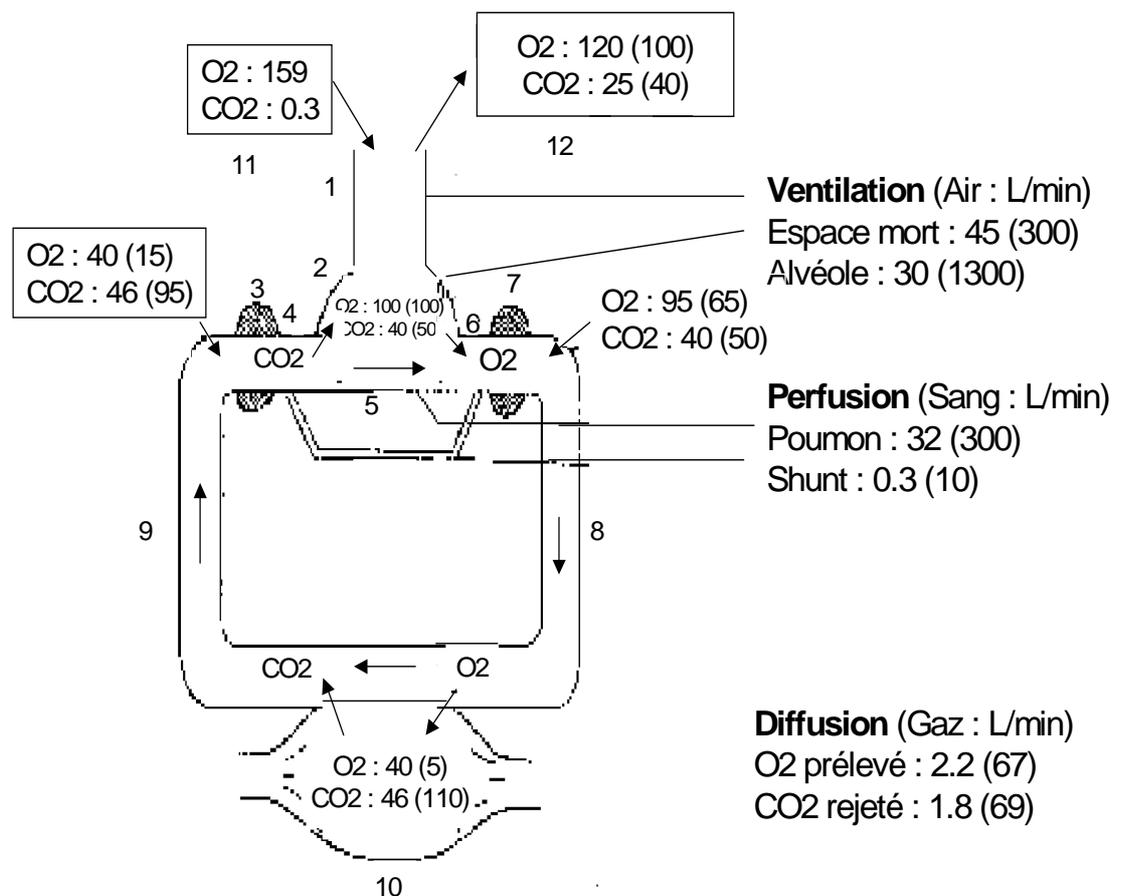


Figure 5 : Pressions partielles de gaz (en mm de Hg) en relation avec la ventilation, la perfusion, la diffusion (en litres/min) au repos et à l'effort (valeurs entre parenthèses).

(1 : voies aériennes, 2 : alvéoles, 3 : cœur droit, 4 : artère pulmonaire, 5 : capillaires pulmonaires, 6 : veines pulmonaires, 7 : cœur gauche, 8 : artères, 9 : veines, 10 : muscles locomoteurs, 11 : air inspiré, 12 : air expiré). D'après « *The Athletic Horse* », 1994, p95.

Bien que l'augmentation de la fréquence et du volume respiratoires optimise la ventilation alvéolaire, il existe un espace mort physiologique dans la ventilation qui limite la réponse ventilatoire totale à l'exercice. Le ratio espace mort physiologique sur volume tidal diminue proportionnellement à l'intensité de l'exercice. Cependant,

lors d'un effort submaximal prolongé, ce ratio augmente graduellement en raison de la thermorégulation (43). On assiste également à une augmentation du coût énergétique pour maintenir élevés la fréquence et le volume respiratoires. L'utilisation de l'oxygène dépend de la ventilation, de la diffusion alvéolaire des gaz sanguins, de la capacité de l'appareil circulatoire à approvisionner les muscles en oxygène via l'hémoglobine et de la capacité du muscle à capturer et à utiliser cet oxygène.

Chez les chevaux d'endurance, la déshydratation est souvent le principal facteur limitant les échanges gazeux alvéolaires. La consommation d'oxygène augmente proportionnellement à la vitesse du cheval jusqu'à l'atteinte du seuil anaérobie. Comme la vitesse est contrôlée en endurance, le seuil anaérobie est rarement atteint et le métabolisme anaérobie n'est utilisé que sur de courtes périodes.

Enfin, un bon nombre d'affections des voies respiratoires peuvent altérer les fonctions respiratoires et entraîner une intolérance à l'effort (figure 6).

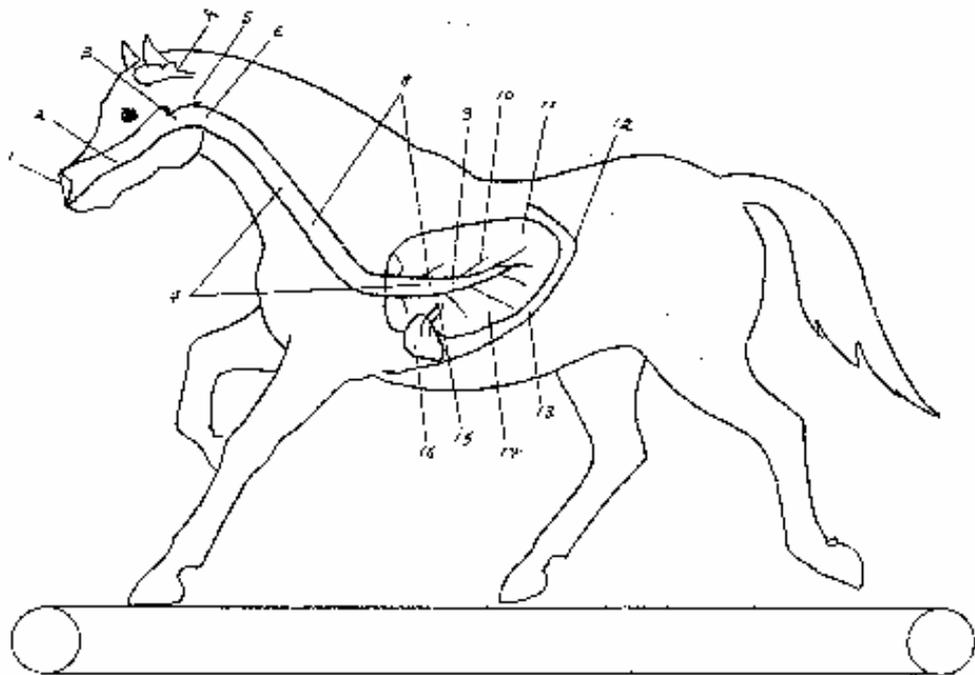


Figure 6 : Illustrations de quelques problèmes respiratoires subcliniques potentiellement responsables de contre-performances en raison d'échanges gazeux inadéquats (d'après « *The Athletic Horse* », 1994, p111).

[1 : taille des naseaux insuffisante, 2 : résistance nasale excessive, 3 : dysfonctionnement pharyngé, 4 : contrôle respiratoire inadéquate, 5 : infections des poches gutturales, 6 : dilatation laryngée inadéquate, 7 : infections virales subcliniques, 8 : collapsus des voies respiratoires, 9 : bronchite, 10 : maladies des voies respiratoires profondes, 11 : HIEP, 12 : atteintes de la cage thoracique, 13 : fatigue diaphragmatique, 14 : défauts de ventilation-perfusion, 15 : vasoconstriction pulmonaire, 16 : concentration en hémoglobine inadéquate.]

F . LES LIMITES CARDIOVASCULAIRES A L'EXERCICE

La réponse cardiaque à l'exercice est rapide. Pour compenser la vasodilatation musculaire et donc l'hypotension induites par l'exercice, on observe une libération de catécholamines qui entraîne l'augmentation de la fréquence cardiaque. L'hypotension déclenche une splénocontraction avec libération des érythrocytes et de l'hémoglobine qui s'accompagne d'une augmentation du volume sanguin, de la pression sanguine et du retour sanguin aboutissant à terme à une réduction de la fréquence cardiaque (15).

1 . Les facteurs influençant la fréquence cardiaque

Il existe une relation linéaire entre la fréquence cardiaque et l'effort submaximal : ainsi la fréquence cardiaque varie en fonction de la vitesse, du type de terrain, de la dénivelée, de la déshydratation et de la température du corps. En général, la fréquence cardiaque d'un cheval d'endurance à l'effort oscille entre 120 et 140 battements par minute, maintenant le métabolisme aérobie prédominant (15). Cette constatation est valable pour une intensité et une vitesse requises semblables pour la plupart des épreuves. La fréquence cardiaque pour une charge de travail donnée peut varier d'un cheval à l'autre en fonction de sa condition physique, de son statut métabolique au cours de l'épreuve et de la présence éventuelle d'une douleur (exprimée par exemple par une boiterie, même de faible grade), (19).

2 . Intérêt du monitoring cardiaque

L'utilisation d'un moniteur cardiaque est une méthode objective d'évaluation de la compensation métabolique à l'exercice car le seuil métabolique anaérobie est atteint à partir de 150 battements par minute pour la majorité des chevaux. Ainsi, avec une lecture constante de la fréquence cardiaque, le cavalier d'endurance peut contrôler la vitesse dans les différents terrains afin d'économiser l'énergie de sa monture et optimiser la consommation et l'utilisation de l'oxygène. Cela permet également la détection précoce d'une intolérance à l'exercice liée à un problème métabolique ou orthopédique (19). Avec la connaissance de cette fréquence cardiaque, les capacités

naturelles du cheval et ses difficultés peuvent être reconnues et explorées ce qui permet de soulager l'athlète aussi bien pendant la course qu'à l'entraînement.

3 . La récupération cardiaque

La récupération cardiaque est un paramètre objectif important pour l'évaluation de la condition physique et de l'intolérance à l'exercice. Plus vite le cheval retrouve une fréquence cardiaque dans les limites de la normale après l'effort, plus l'organisme sera performant lors de la reprise de l'exercice. Par conséquent, elle est le reflet d'une bonne adaptation de l'athlète ou au contraire, indique une difficulté à maintenir l'homéostasie à un certain niveau d'exercice. Lors des contrôles vétérinaires en endurance, des fréquences cardiaques supérieures à 64 ou 68 battements par minute après 30 minutes de récupération sont souvent corrélées à une déshydratation, une carence électrolytique, des atteintes musculaires ou la présence d'une douleur (49). Les chevaux d'endurance en bonne condition physique peuvent voir leur fréquence cardiaque passer en-dessous de 64 battements par minute en 5 à 10 minutes après leur arrivée. De plus, le temps de recoloration capillaire également utilisé lors de l'examen vétérinaire est un indicateur clinique de dysfonctionnement cardiovasculaire.

4. Les effets de la mise en condition

La fréquence cardiaque des chevaux au repos ne diminue généralement pas malgré la mise en condition et l'entraînement contrairement aux athlètes humains (40). Par conséquent, une fréquence cardiaque basse au repos ne signe pas forcément une bonne condition physique. L'aptitude athlétique est davantage corrélée à la valeur maximale de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique. Pendant un exercice submaximal, le débit cardiaque augmente linéairement avec l'augmentation de la charge de travail, principalement à cause de l'augmentation de la fréquence cardiaque (16), (64). La mise en condition permet d'augmenter le volume d'éjection systolique donc la libération d'oxygène et de raccourcir le temps de récupération. Mais elle ne peut pas modifier le débit cardiaque ni la fréquence cardiaque maximale (18). Cependant, elle permet l'apport du même volume sanguin pour un moindre coût d'énergie. Mais la déshydratation et les carences électrolytiques entraînent une

augmentation de la fréquence cardiaque et par conséquent, du coût énergétique nécessaires au maintien de la perfusion et des échanges gazeux. Cet état peut également occasionner l'apparition d'arythmies.

G . LE SURENTRAINEMENT

L'exercice induit une perturbation de l'équilibre au sein des différents systèmes de l'organisme. Une phase de récupération est nécessaire au rétablissement de la balance et lorsque cette récupération est incomplète ou insuffisante, la fatigue apparaît. Les programmes d'entraînement ne contenant pas de jours de repos peuvent également être responsables de l'intolérance à l'exercice chez certains chevaux d'endurance.

Lorsque le déséquilibre est rapidement corrigé, on parle de surentraînement de court terme. En revanche, quand la fatigue dure depuis plus longtemps, on parle alors de syndrome de surentraînement qui s'accompagne de modifications métaboliques, endocriniennes et comportementales (4).

Le syndrome de surentraînement peut revêtir deux formes : sympathique et parasympathique. La forme sympathique est la plus fréquemment rencontrée chez les chevaux de course : sous l'effet des catécholamines, on observe d'une part une plus grande irritabilité ainsi qu'une augmentation de la fréquence cardiaque, du catabolisme des protéines, des concentrations en cortisol et une diminution et d'autre part, une diminution des performances et de la perfusion rénale. La forme parasympathique, plus fréquente chez les chevaux d'endurance, s'apparente à un état de bonne condition physique avec une fréquence cardiaque basse et un temps de récupération rapide suivis d'une baisse de performance, d'une hypoglycémie due à l'absence de glucagon, d'un état de dépression et d'immunosuppression. Les concentrations en lactates peuvent chuter en raison de l'épuisement en glycogène et de la perte d'appétit (4).

Des analyses sanguines et les signes cliniques de baisse de performance peuvent indiquer un surentraînement et permettre de réévaluer le programme. La convalescence nécessite une longue période de repos après laquelle l'entraînement devra être repris graduellement. Pour remplacer les dépenses énergétiques occasionnées lors d'une course d'endurance, les chevaux ont ensuite besoin de plusieurs jours de repos et d'une alimentation appropriée. L'arrêt temporaire de

l'entraînement n'affecte pas les capacités du cheval athlète et dans cette situation, il est même très bénéfique.

Conclusion

La compétition d'endurance requiert le synchronisme et le développement des systèmes métabolique et musculo-squelettique. La boiterie est la cause d'élimination la plus fréquente en compétition. Elle peut être liée à un travail prolongé sur des terrains défavorables ou à la participation intensive à des compétitions avant l'atteinte d'une maturité suffisante des structures osseuses, ligamentaires et tendineuses. La déshydratation, les pertes électrolytiques et énergétiques résultent d'un exercice prolongé mais sont contrôlables pendant la course par la supplémentation en énergie et l'adaptation de l'allure du cheval aux difficultés de la compétition. Pour certains chevaux, éviter la rhabdomyolyse est un véritable challenge car le mécanisme exact d'apparition reste mal connu, particulièrement dans les cas où celle-ci survient en début de course ou d'entraînement. La déshydratation et les pertes électrolytiques et énergétiques entraînent une souffrance importante du système cardiorespiratoire, donc une réduction de la perfusion sanguine dans tout l'organisme et une moindre efficacité de la thermorégulation.

Deuxième partie :

REGLEMENTATION ET PLACE DU VETERINAIRE DANS LES RAIDS EQUESTRES D'ENDURANCE

A. OBJET DU REGLEMENT ET CHAMP D'APPLICATION

Les concours équestres d'endurance sont des compétitions sportives. A ce titre, elles sont assujetties au respect de la législation qui régit l'organisation et la promotion des activités physiques et sportives. Discipline équestre, l'endurance relève de la Fédération Française d'équitation.

Ce règlement s'applique et s'impose dans tous les domaines :

- à toute personne ou société organisatrice d'épreuve d'endurance,
- à toute personne qui entraîne un cheval, l'engage et le fait participer à un concours régi par le présent règlement,
- aux cavaliers participant à un concours d'endurance équestre,
- à toute personne physique ou morale ayant une part quelconque dans la propriété d'un cheval prenant part à un concours,
- aux chevaux engagés dans les compétitions d'endurance. Tout membre du genus equus est considéré comme "cheval".

B. LES DIFFERENTES EPREUVES (44)

1. Définition

Les concours d'endurance sont des épreuves d'extérieur courues au chronomètre, sur un itinéraire imposé et balisé, avec des contrôles vétérinaires avant, pendant et après l'épreuve. Le temps des arrêts obligatoires pour ces contrôles est défalqué. Il existe divers types d'épreuves caractérisées par la distance à parcourir et la vitesse qui est réglementée ou libre selon le niveau du concours.

La participation des chevaux et cavaliers à chaque type d'épreuve dépend de la qualification des uns et des autres. Cette qualification peut être acquise séparément. Les qualifications obtenues par le cheval sont acquises à vie. Les qualifications progressives obtenues par le cavalier (équivalentes à des diplômes validés sur le terrain) sont acquises à vie.

2. Classification des épreuves

Epreuves à vitesse imposée :

Appellation	Distance	Tolérance	Moyenne horaire
Qualificative Q2	20 km	18 à 22 km	10 à 13 km/h
Qualificative Q1	30 km	27 à 33 km	10 à 13 km/h
Régionale R2	40 km (2x20)	35 à 45 km	12 à 15 km/h
Régionale R1	60 km (3x20 ou 2x30)	55 à 65 km	12 à 15 km/h

Epreuves à vitesse libre :

Appellation	Distance	Tolérance	Moyenne horaire
Pré-nationale 90 km(3x30)	85 à 95 km	Vitesse libre	Minimum 12 km/h
Nationale	120 à 160 km ou 2x100 km (+ ou – 5 km)	Vitesse libre	** min 11 km/h *** min 12 km/h

L'étude statistique ultérieure intéressant uniquement les épreuves nationales, nous ne nous attarderons pas sur les épreuves à vitesse imposée ou les pré-nationales.

3. Epreuves nationales

Contrôles vétérinaires

La durée du temps neutralisée au « Vet-Gate » est de 40 min, sauf modification annoncée par le Président de Jury.

Il ne peut y avoir plus de 40 km de parcours entre deux contrôles vétérinaires.

Un ou plusieurs vétérinaires traitants sont à disposition pour soigner les chevaux défaillants.

Contrôle des chevaux avant l'épreuve

Lors du contrôle initial, le document d'accompagnement du cheval est remis au jury qui le conserve jusqu'à la visite vétérinaire du lendemain de l'épreuve.

Contrôle du lendemain de l'épreuve

Une visite vétérinaire non éliminatoire sera obligatoirement effectuée le lendemain de l'épreuve. A l'issue de cette visite, le document d'accompagnement (livret SIRE, passeport,...) du cheval sera restitué.

Fermeture des postes de contrôle

Une heure limite pour la fermeture des postes de contrôle est calculée en fonction de la vitesse minimale. Tout cheval arrivé après cette heure de fermeture au poste de contrôle est éliminé.

Jury

Le président, son adjoint ainsi que le responsable de la commission vétérinaire sont désignés par la Fédération Française d'Equitation (FFE).

Poids et âge minimaux

Le poids minimal porté par le cheval est de 70 kg pour les épreuves 2 étoiles.

Le poids minimal porté par le cheval est de 75 kg pour les épreuves 3 étoiles.

Pour les épreuves nationales, les cavaliers doivent avoir 14 ans minimum dans l'année civile.

Départs et déroulement de la course

Les départs se font en groupe et au plus tard dans les 15 minutes qui suivent le départ. L'heure de départ de tout concurrent qui ne se présente pas au moment fixé pour son départ est enregistré comme s'il était parti au moment exact.

Chaque cheval inscrit doit être monté pendant toute la durée de la course par le même cavalier.

Les aides de complaisance sont interdites.

4. Qualifications et classements

Sont qualifiés à l'issue d'une épreuve les chevaux et cavaliers ayant terminé cette épreuve dans la fourchette de vitesse imposée et non éliminés pour des raisons non vétérinaires ou réglementaires.

Epreuves à vitesse imposée :

Type d'épreuve	Qualification cavaliers	Qualification chevaux
Qualificatives 1 et 2	Aucune	Aucune
Régionale 2	1 qualification en Q1 ou Q2	1 qualification en Q1 ou Q2 (aucune si le cavalier est classé en PN ou en Nationale)
Régionale 1	1 qualification en R2	1 qualification en R2

Epreuves à vitesse libre :

Type d'épreuve	Qualification cavaliers	Qualification chevaux
Pré-nationale (PN)	1 qualification en R1	1 qualification en R1
Nationale	2 qualifications en PN	2 qualifications en PN (ou 1 qualification en PN, monté par un cavalier classé en épreuve nationale)

Pour le classement des couples cavalier-cheval, nous ne nous intéresserons qu'au règlement concernant les épreuves nationales. Ainsi, pour ces épreuves, c'est le chronomètre seul qui départage les concurrents non éliminés lors des contrôles vétérinaires ou sur décision du jury pour infraction au règlement. Il ne peut y avoir d'ex-aequo dans les cinq premiers.

5. Organisation des épreuves

Jury

Le jury contrôle toutes les dispositions prises par la société organisatrice et l'application du règlement pendant la totalité de l'épreuve. Son contrôle est absolu et ses décisions sont sans appel.

Service médical

En conformité avec l'autorisation préfectorale

Transmissions

Pour assurer un lien entre les événements sur l'itinéraire de la course et l'organisation centrale.

Postes de contrôle

Ils comprennent :

- une enceinte vétérinaire
- un juge responsable qui peut éliminer les concurrents sur proposition des vétérinaires
- un maréchal-ferrant
- les chronométreurs et le secrétariat
- de l'eau potable.

Circuit et balisage

Ainsi, le concurrent qui n'a pas parcouru l'intégralité de l'itinéraire balisé est éliminé

Ravitaillement

Les aires prévues pour le ravitaillement sont indiquées sur les cartes du parcours.

C. LES CHEVAUX

1. Documents à produire

Sous réserve de satisfaire aux conditions de qualification propres à chaque épreuve, sont admis les chevaux munis d'un document d'accompagnement (document SIRE) validé et conforme aux normes en vigueur. En application du décret du 1 Novembre 1997, tout cheval doit être identifié pour participer à un concours équestre d'endurance. Le contrôle d'identité consiste à s'assurer de la concordance du signalement du cheval présenté avec ceux (littéral et graphique) figurant sur le document dont il est doté.

D'autre part, sur ce document d'identification doivent être portées les vaccinations. La vaccination vise à protéger l'animal au plan individuel et à diminuer les risques de transmission entre animaux. Les principales maladies sujettes à vaccination sont le tétanos, la rage, la grippe et la rhino-pneumonie. D'autres vaccins existent mais ne sont pas autorisés en France (artérite virale, peste équine).

Maladie	Protocole	Protection	Règlement
Rage	- Primo-vaccination avant 6 mois : 2 injections à 4 semaines d'intervalle puis rappels annuels - Primo-vaccination après 6 mois : 1 injection puis rappels annuels	Excellente	Avant 2002 : obligatoire pour participer aux compétitions équestres Depuis 2002 : obligation à l'appréciation du président de jury de la course
Tétanos	Primo-vaccination : 2 injection à 4 semaines d'intervalle puis rappels annuels voire tous les 3 ans	Excellente	Non obligatoire pour participer aux compétitions équestres
Grippe	Primo-vaccination : 2 injections à 4 semaines d'intervalle puis rappel 6 mois plus tard puis rappels annuels	Faible-12 mois	Obligatoire pour participer aux compétitions équestres, concours d'élevage, courses et pour l'exportation.
Rhino-pneumonie	Primo-vaccination : 2 injections à 4 semaines d'intervalle puis rappel 6 mois plus tard puis rappels annuels. Juments gestantes : rappels à 5, 7, 9 mois de gestation.	faible	Non obligatoire mais conseillée pour les juments reproductrices et les chevaux à l'entraînement.

2. Conditions d'âge

L'âge requis pour les chevaux est différent selon les épreuves envisagées :

- Epreuves qualificatives (Q2 et Q1) et Régionales 2 : chevaux de 4 ans et plus dans l'année en cours.
- Epreuves Régionales 1 et Pré-Nationales : chevaux de 5 ans et plus dans l'année en cours.
- Epreuves Nationales : chevaux de 6 ans et plus dans l'année en cours.

D. LES CONTROLES VETERINAIRES

1. Les vétérinaires présents en compétition (54)

1.1. La commission vétérinaire

La commission vétérinaire de l'épreuve comprend le nombre de vétérinaires approprié. Ce nombre tient compte du nombre de chevaux inscrits et du type de parcours (tracé et difficulté). Dans tous les cas, au moins un pour quinze chevaux, plus un vétérinaire soignant et toujours un minimum de trois vétérinaires sur les épreuves à vitesse libre.

La commission vétérinaire se compose de :

- un responsable de la commission, le vétérinaire délégué, qui assure le rôle de conseiller technique du Président du Jury et qui, outre son rôle de juge, veille au bon déroulement des jugements,
- les vétérinaires juges, chargés d'effectuer les différents contrôles,
- un vétérinaire traitant.

La commission vétérinaire possède le contrôle total en matière de santé et de bien-être du cheval. Elle a le devoir de conseiller et le pouvoir de contrôler le comité organisateur en matière vétérinaire. Elle est, tout au long de l'épreuve, le conseiller technique du jury de terrain. Elle définit ou modifie les paramètres variables de la compétition : vitesse optimale et minimale, fréquence cardiaque maximale, temps de repos aux arrêts obligatoires, modalités des inspections, etc. La durée de sa mission peut s'étendre de l'examen initial jusqu'à 24 heures après l'arrivée du dernier cheval.

1.2. Le vétérinaire de service ou traitant

Il est préalablement désigné et chargé d'assurer, si nécessaire, les soins d'urgence aux chevaux. En cas de nécessité, il peut être aidé par ses confrères.

1.3. Les vétérinaires préleveurs

Cette catégorie distincte n'a lieu d'être que lorsqu'il s'agit d'une mission dans le cadre strict du programme de contrôle des médications de la Fédération Equestre Internationale (FEI).

1.4. Les vétérinaires d'équipe

Pour les épreuves internationales, le vétérinaire d'équipe est l'interlocuteur privilégié de la commission. Il a en charge la santé, le bien-être et la sauvegarde de l'avenir sportif des chevaux qui lui sont confiés par sa fédération. Il est le conseiller technique en matière vétérinaire de son chef d'équipe et de ses cavaliers. Il suit les chevaux sélectionnables sur toutes les épreuves nationales de l'année, participe à la sélection et l'entraînement de l'équipe nationale et accompagne cette équipe au championnat.

1.5. Les vétérinaires privés

Principalement rencontrés en épreuves internationales, ils sont les vétérinaires privés de concurrents individuels.

2. Le suivi vétérinaire

Les cavaliers doivent présenter à chaque contrôle vétérinaire la fiche de suivi mentionnant leur nom, leur numéro de dossard et les renseignements concernant leur cheval (nom, numéro SIRE, robe, âge, race, sexe). Chaque vétérinaire est assisté par un(e) secrétaire chargé(e) de transcrire sur la fiche de suivi les informations cliniques relevées lors des différents examens des chevaux. Toute particularité d'état ou d'allure au contrôle initial doit être notée sur la fiche de suivi.

Dans la mesure du possible, chaque cheval est examiné au départ par l'ensemble des vétérinaires.

Pour les épreuves à vitesse imposée seront mentionnés au moins :

- fréquence cardiaque
- fréquence respiratoire
- couleur des muqueuses
- examen des allures

Pour les épreuves à vitesse libre seront mentionnés en plus :

- résultats du test de Ridgway (voir chapitre 3.2)
- temps de réplétion capillaire
- bruits abdominaux
- état de déshydratation (évaluation par le pli de peau à la pointe de l'épaule)

2.1. Les contrôles vétérinaires

Les éliminations sont prononcées par le Président de Jury sur avis d'un ou plusieurs vétérinaires.

Conditions générales

L'examen doit permettre de mettre en évidence toute anomalie qui pourrait mettre en danger un cheval ou compromettre son avenir sportif.

Le contrôle se compose d'un examen médical statique et d'un examen médical dynamique. Il s'effectue avant le départ, au cours de l'épreuve et à l'arrivée. Sur les épreuves nationales, les chevaux sont également examinés le lendemain de l'épreuve.

En cours d'étape, à l'initiative des vétérinaires ou du Président de Jury, des « contrôles volants » peuvent avoir lieu sur la piste.

2.2. Les différents examens (47)

Ces examens portent sur deux types de critères :

- Critères de type A

Ils sont quantitatifs et directement mesurables. La proposition d'un seul vétérinaire se référant à ces critères permet l'élimination du couple cavalier-cheval.

Fréquence cardiaque : à chaque halte vétérinaire, la fréquence cardiaque ne doit pas être supérieure au seuil requis pour l'épreuve. Le dépassement de ce seuil, après mesure pendant une minute, conduit à l'élimination du cheval.

Fréquence respiratoire et température corporelle : l'observation par le vétérinaire d'une fréquence respiratoire supérieure à la fréquence cardiaque conduit à l'élimination du cheval pour les épreuves à vitesse imposée. En revanche, quel que soit le type d'épreuve, l'observation d'une fréquence respiratoire élevée associée à une température corporelle supérieure ou égale à 39°C entraîne l'élimination du cheval.

- Critères de type B

Ce sont des observations d'ordre qualitatif et nécessitent la présence d'au moins deux vétérinaires pour mettre le cheval hors course. Outre l'observation d'une boiterie continue sur un aller-retour au trot en ligne droite qui à elle seule est éliminatoire, plusieurs critères de type B défavorables et associés peuvent entraîner l'élimination d'un cheval.

Quelques critères de type B : déshydratation (pli de peau), couleur des muqueuses anormale, temps de réplétion capillaire allongé, absence de bruits digestifs, bruits cardiaques anormaux, troubles du rythme, mouvements respiratoires anormaux, blessures...

3. L' examen cardiaque

3.1. Les normes

L'examen prend en compte la fréquence, le rythme et les bruits anormaux.

La fréquence cardiaque maximum autorisée est :

- pour les contrôles initiaux de toutes les épreuves : 64 battements / minute
- pour les contrôles intermédiaires et finaux :
 - 60 bat / min pour les épreuves à vitesse imposée
 - 56 bat / min pour les épreuves Pré-nationales
 - 60 bat / min pour les épreuves nationales 2 étoiles
 - 64 bat / min pour les épreuves nationales 3 étoiles

Les horaires de passage pour la présentation du cheval au contrôle vétérinaire varient selon le type d'épreuve :

- épreuves à vitesse imposée : contrôle(s) intermédiaire(s) dans les 30 minutes qui suivent l'arrivée et contrôle final 30 minutes après l'arrivée,
- épreuves Pré-nationales et épreuves nationales 3 étoiles : contrôles intermédiaires et final dans les 30 minutes qui suivent l'arrivée,
- épreuves nationales 2 étoiles : contrôles intermédiaires et final dans les 20 minutes qui suivent l'arrivée.

3.2. Le test de Ridgway (47)

Dans les épreuves à vitesses libre, un système de « vet-gate » est mis en place : les chevaux peuvent être présentés aux contrôles intermédiaires dès que leur fréquence cardiaque est redescendue en dessous du seuil requis dans le temps imparti qui suit leur arrivée. Les chevaux bien entraînés sont en général présentés en moins de dix minutes. Ils ont la possibilité d'un deuxième contrôle si la fréquence cardiaque est supérieure au seuil lors de la présentation. Ils attendent ensuite 30 à 40 minutes avant de repartir. Les chevaux sont classés en fonction de leur vitesse : le cheval le plus rapide sans être éliminé est le vainqueur. Le temps en course retenu pour le calcul de la vitesse inclut le temps de passage au « vet-gate ». Les cavaliers ont donc intérêt à passer le plus vite possible au contrôle vétérinaire. Ainsi, les contrôles vétérinaires ont pour but de vérifier si le cheval est apte à continuer l'épreuve ou s'il nécessite une surveillance particulière, voire des soins.

3.2.1. Principe et réalisation du test

Principe

Quelques minutes avant de prendre le départ de la dernière étape, le cheval est présenté harnaché au contrôle, prêt à partir.

Réalisation du test

- *au temps T_0* : mesure de la fréquence cardiaque FC_0
- *au temps T_1* : départ pour 30 mètres aller et 30 mètres retour au trot
- *à T_1+1min* : mesure de la fréquence cardiaque FC_1 .

3.2.2. Interprétation

Elle repose sur le calcul du paramètre $\Delta = FC_1 - FC_0$, selon les critères établis par Ridgway avec une FC_0 inférieure ou égale à 60 bat / min :

- si $FC_1 - FC_0 \leq 4$, le cheval a correctement récupéré et peut poursuivre l'épreuve ;
- si $FC_1 - FC_0 > 4$, le cheval n'a pas récupéré correctement. Un examen plus complet est entrepris, à l'issue duquel le cheval est considéré comme à surveiller ou à éliminer.

Ce test est recommandé sur les épreuves nationales, à partir du 3^{ème} contrôle vétérinaire. Réglementairement, il n'est pas éliminatoire mais il permet d'apprécier l'état de fatigue du cheval, de conseiller le cavalier sur la gestion future de sa course et, éventuellement, de procéder collégalement à l'élimination du couple si un mauvais résultat est obtenu, associé à d'autres signes suspects.

Aucune relation entre la fréquence cardiaque au test de Ridgway et la place dans le classement n'a été démontrée. Un Δ de plus de 4 n'est pas associé à une altération des performances si la fréquence cardiaque reste basse (inférieure à 60 bat / min). En pratique, le test de récupération doit systématiquement intégrer la mesure de la FC_0 et l'examen des allures. Lorsque ces deux paramètres sont normaux et en l'absence d'anomalie signalée lors du passage au « vet-gate », la poursuite de l'examen n'est pas indispensable. La FC_1 est, en revanche, un paramètre utile à comparer à la FC_0 lorsque cette dernière ou les allures sont anormales. D'autres signes de fatigue doivent être recherchés : couleur des muqueuses anormale, temps de réplétion capillaire augmenté, tonus anal diminué, tremblements, arrêt du transit digestif, déshydratation.

4. L'examen des allures

L'examen se fait sur un aller et retour de 30 mètres au moins en ligne droite, au trot, sur un sol jugé convenable par la commission vétérinaire. Le cheval est présenté nu de toute protection. Une boiterie est éliminatoire si elle est continue sur le trajet aller-retour.

Sur les épreuves à vitesse limitée, l'élimination d'un cheval pour boiterie peut être proposée au président de jury par un seul vétérinaire alors qu'elle doit l'être par deux vétérinaires au moins pour les épreuves à vitesse libre.

5. Contrôles des chevaux initial, intermédiaire(s) et final

5.1. Avant l'épreuve

Outre le contenu habituel des contrôles, les vétérinaires effectuent :

- un contrôle de l'identité
ils vérifient la conformité du signalement et contrôlent que le document a été validé par le service des Haras Nationaux,
- un contrôle des vaccinations
la vaccination contre la grippe doit être en cours de validité et celle contre la rage est laissée à l'appréciation du président de jury.

5.2. Pendant l'épreuve

Les contrôles intermédiaires sont effectués dans les 30 minutes qui suivent l'arrivée pour toutes les épreuves sauf les Nationales 2 étoiles où ils se font dans les 20 minutes. Sur les épreuves à vitesse libre, si le critère correspondant à la fréquence cardiaque n'est pas respecté au moment du contrôle, un deuxième passage est autorisé dans le délai imparti pour l'épreuve.

En cas de doute sur la conclusion apportée par la synthèse des examens pratiqués, le vétérinaire peut demander à revoir le cheval pour un nouvel examen avant la fin du temps neutralisé réglementaire.

En cours d'étape, à l'initiative des vétérinaires ou du jury, des contrôles « volants » peuvent avoir lieu sur la piste. Un examen selon les critères mentionnés plus haut est pratiqué par un vétérinaire et peut entraîner l'élimination du cheval. La durée de l'examen est décomptée du temps global de l'épreuve du cheval considéré.

5.3. Contrôle final

Les examens sont effectués dans les 30 minutes après l'arrivée sur les épreuves à vitesse imposée, dans les 20 minutes pour les épreuves nationales 2 étoiles et dans les 30 minutes pour toutes les autres épreuves à vitesse libre. Un seul passage est autorisé.

E. ENTITES PATHOLOGIQUES RENCONTREES AU COURS DES RAIDS EQUESTRES D'ENDURANCE

1. « Coup de chaleur »

Lorsqu'il y a hyperthermie modérée, soit parce que la température extérieure augmente, soit parce que l'effort se prolonge, il y a augmentation de la transpiration. Si, à l'hyperthermie s'ajoute une déshydratation importante, il y a alors réduction de la quantité de sueur émise et même arrêt de l'émission (41).

Il y a rapidement mise en place de mécanismes compensateurs (figure 7 en annexe):

- réduction du débit cardiaque et de la perfusion rénale en réponse à la réduction du volume plasmatique,
- sécrétion de rénine, d'angiotensine puis d'aldostérone d'où rétention du sodium et de l'eau, en réponse à la réduction de filtration glomérulaire (6).

Mais si l'hyperthermie et la déshydratation ne sont pas rapidement corrigées, les conséquences et séquelles peuvent être graves.

On observe alors une augmentation des fréquences cardiaque et respiratoire, un abattement et une incoordination motrice. La température augmente, il y a risque de choc hypovolémique, convulsions et collapsus entraînant la mort du cheval si cette température se maintient trop longtemps à 42-43°C. Ainsi, la perturbation des équilibres hydro-électriques et acido-basique peut être à l'origine de séquelles importantes voire d'affections secondaires.

2. Myopathies

2.1. Etude clinique

Les dysfonctionnements musculaires apparaissant au cours de l'effort varient en intensité des crampes à la rhabdomyolyse et font suite à des efforts de durée variable.

L'animal est anxieux, il présente une sudation abondante, des fréquences respiratoire et cardiaque élevées, une douleur et une consistance modifiée des masses musculaires atteintes (55).

Les lésions vont de l'inflammation des cellules musculaires à la dégénérescence.

2.2. Etiologie

De nombreux facteurs ont été mis en cause (48), (55) :

- rapport régime / exercice
- niveau d'entraînement
- facteurs endocriniens
- facteurs génétiques
- environnement
- déséquilibres électrolytiques, ces derniers semblant être particulièrement importants.

3. Troubles rénaux

3.1. Etiologie

Le débit cardiaque passant de 15% à 1% au niveau rénal, il est normal d'observer une oligurie voire une anurie d'effort. Cependant, la perfusion rénale devenant physiologiquement normale dans les 20 minutes suivant l'arrêt de l'exercice, on doit observer un retour de l'émission d'urine.

Parfois, plusieurs mécanismes vont agir conjointement et entraîner des lésions rénales. Ce sont (figure 7 en annexe) :

- une diminution du flux sanguin rénal donc de la filtration glomérulaire,
- une hypokaliémie entraînant une dégénérescence des cellules des tubes distaux,
- une toxicité directe de la myoglobine et de l'hypoxanthine relarguées lors d'atteinte musculaire.

3.2. Conséquences

La non-compensation des pertes hydro-électriques peut donc être à l'origine de séquelles rénales compromettant la carrière future du cheval, et pouvant même, dans les cas graves, mettre en jeu le pronostic vital.

4. Flutter diaphragmatique

Le flutter diaphragmatique est une affection rencontrée fréquemment sur les chevaux éliminés lors de raids équestres d'endurance (48).

4.1. Etude clinique

Le flutter diaphragmatique est caractérisé par une contraction spasmodique des muscles abdominaux synchrone de chaque battement cardiaque (21), (66). Elle peut être visible sur le flanc gauche, le flanc droit ou les deux simultanément.

Son association à la dépolarisation atriale chez le cheval est certainement due à la position anatomique du nerf phrénique proche de l'atrium.

Le flutter diaphragmatique en lui-même n'est probablement pas dangereux, mais il est généralement considéré comme un indice de déséquilibre électrolytique important.

4.2. Etiologie chez le cheval d'endurance

Le flutter diaphragmatique est la manifestation clinique d'une association de facteurs déclenchants : la déshydratation liée à la sueur pendant l'exercice, les pertes en calcium et potassium, l'alcalose métabolique et respiratoire (figure 8).

Au cours de l'effort, on observe :

- une augmentation des échanges respiratoires entraînant une plus grande élimination du dioxyde de carbone (i.e. alcalose respiratoire)
- la rétention de bicarbonates pour maintenir un équilibre ionique par rapport aux pertes de chlorure (i.e. alcalose métabolique)
- l'excrétion rénale d'ions hydrogènes lorsque le potassium n'est plus disponible pour les échanges avec le sodium dans le tube contourné distal (i.e. alcalose métabolique).

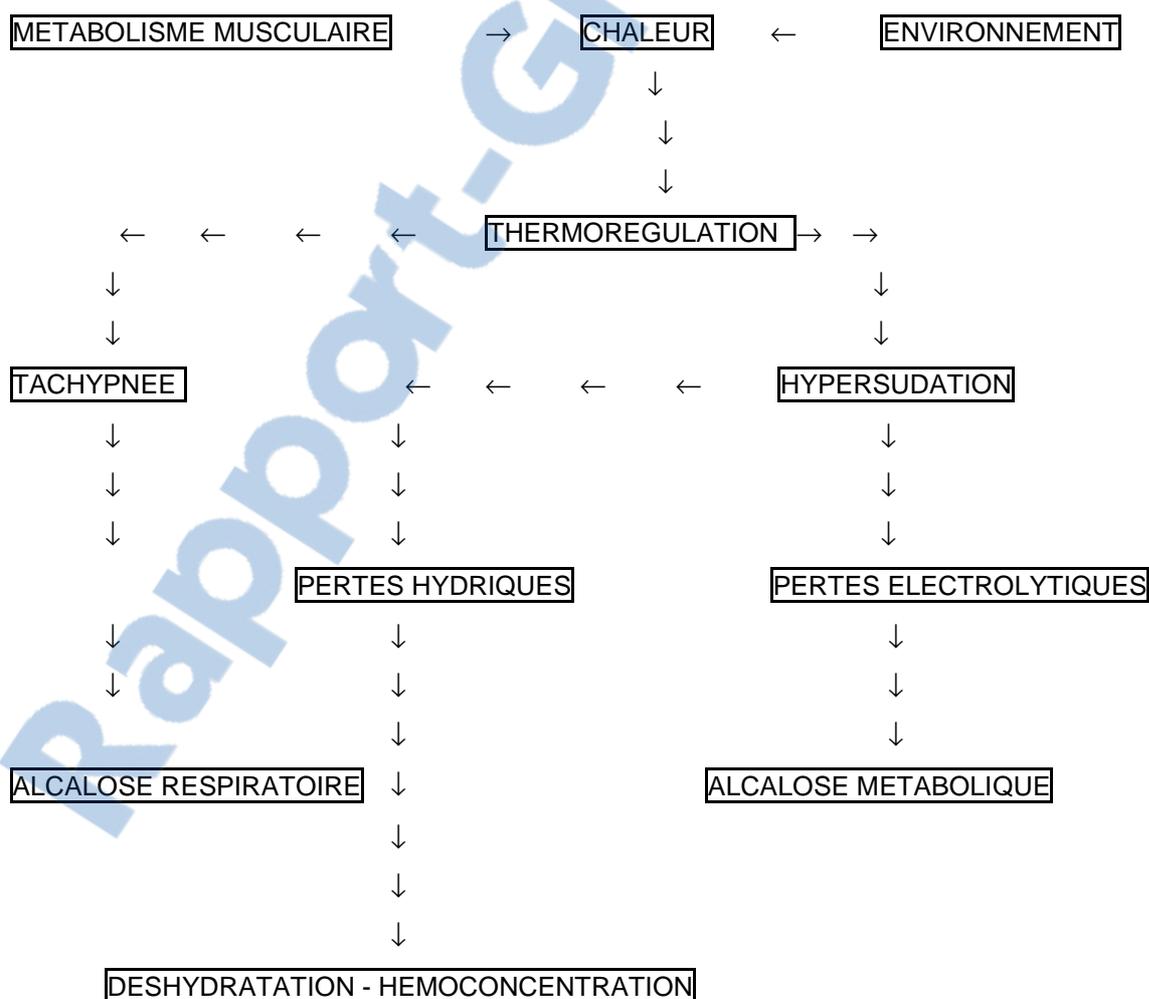


Figure 8 : schéma simplifié de la physiopathologie des raids équestres d'endurance

Le calcium se trouve sous deux formes dans l'organisme : ionisé (la forme active) ou associé aux protéines (la forme de stockage, non active). L'alcalose favorise la forme de stockage. Par conséquent, chez le cheval d'endurance, les pertes de calcium via la transpiration ne sont pas compensées mais au contraire aggravées par un stockage excessif par les protéines de transport.

Les effets combinés de la déshydratation, des pertes électrolytiques et de l'élévation du pH entraînent une irritabilité neuromusculaire visible cliniquement. Chez le cheval, le nerf phrénique, qui innerve le diaphragme, est particulièrement sensible à ces effets. Lors de son trajet près du cœur, il longe l'atrium et dans les conditions précitées, une dépolarisation atriale suffira à l'irriter, déclenchant une contraction du diaphragme et des muscles abdominaux synchrones du battement cardiaque (21).

Une complémentation en électrolytes durant la course pourrait donc avoir un effet prophylactique sur l'apparition du flutter diaphragmatique. En revanche, un régime à forte teneur en calcium en période pré-compétitive augmenterait le risque d'hypocalcémie donc de flutter durant la course, les réponses hormonales diminuant la capacité de mobilisation du calcium osseux.

On peut rattacher au flutter diaphragmatique l'observation d'arythmies cardiaques transitoires apparaissant au cours des raids et sûrement dues à des déséquilibres hydro-électriques (hypocalcémie, hypokaliémie...).

5. Coliques

De nombreux facteurs peuvent être invoqués pour le déclenchement de crises de coliques au cours des raids, qu'ils modifient les circulations périphériques ou la motilité intestinale. Ce sont :

- le stress,
- la diminution de la perfusion de la sphère digestive durant l'exercice (23),
- le retour après l'exercice d'une masse sanguine préalablement affectée aux muscles,
- les désordres métaboliques comme la réduction du flux sanguin et les déséquilibres hydro-électriques (20).

6. Fourbure

6.1. Etude clinique

C'est une affection fréquente sur des chevaux ayant présenté des déséquilibres hydro-électriques importants, dans les heures ou les jours suivant leur arrêt. Elle se localise préférentiellement aux membres antérieurs.

On observe un syndrome douloureux, une augmentation de température et un pouls digité perceptibles au niveau des pieds antérieurs.

Les conséquences possibles sont : une bascule de la 3^{ème} phalange, une nécrose, une chute ou altération de la croissance du sabot, une persistance de la douleur...

6.2. Etiologie

L'étiologie exacte des crises de fourbure n'est pas connue avec précision. Les chocs répétés des pieds sur des sols irréguliers, la surcharge alimentaire (due au besoin important en course) et les déséquilibres hydro-électriques et acido-basiques, en altérant le flux sanguin au niveau du pied semblent être à l'origine des crises de fourbure observées après les épreuves d'endurance équestre (20).

7. Syndrome du cheval épuisé (65)

La fatigue est un phénomène complexe dont le stade final représente un désordre métabolique grave associant plusieurs troubles décrits auparavant, et dont les symptômes seraient exacerbés.

Cette fatigue extrême serait en fait le résultat de l'action conjointe de déséquilibres hydro-électrolytiques, d'une déplétion des substrats énergétiques et d'une hyperthermie primaire.

On observe :

- abattement, anxiété, désintéressement pour la nourriture et la boisson,
- fréquences respiratoire et cardiaque élevées,
- arythmie cardiaque,
- hyperthermie,

- déshydratation et anurie,
- muqueuses sèches et congestionnées,
- dysfonctionnements musculaires (tétanies, myoclonies),
- relâchement des sphincters,
- atonie intestinale.

Le pronostic vital de l'animal étant en jeu, il faut rapidement restaurer l'équilibre hydro-électrolytique et soutenir la fonction cardiaque.

8. Boiteries

D'origine musculaire, articulaire, tendineuse, ligamentaire ou autre, les boiteries peuvent intéresser tous les étages anatomiques. Elles sont favorisées par un entraînement inadapté ou insuffisant, une mauvaise gestion de la ferrure, du transport du cheval sur le lieu de la compétition (transport trop long, temps de récupération trop bref entre l'arrivée sur le site et le départ de la course...) ou de l'allure durant la course (48). Elles ne sont à l'origine d'investigations par le vétérinaire de service sur l'épreuve qu'à la demande du propriétaire du cheval ou en cas d'urgence (plaies importantes, certaines fractures, fourbure...).

La figure 9 donne la proportion des différentes affections diagnostiquées au cours des raids d'endurance équestre.

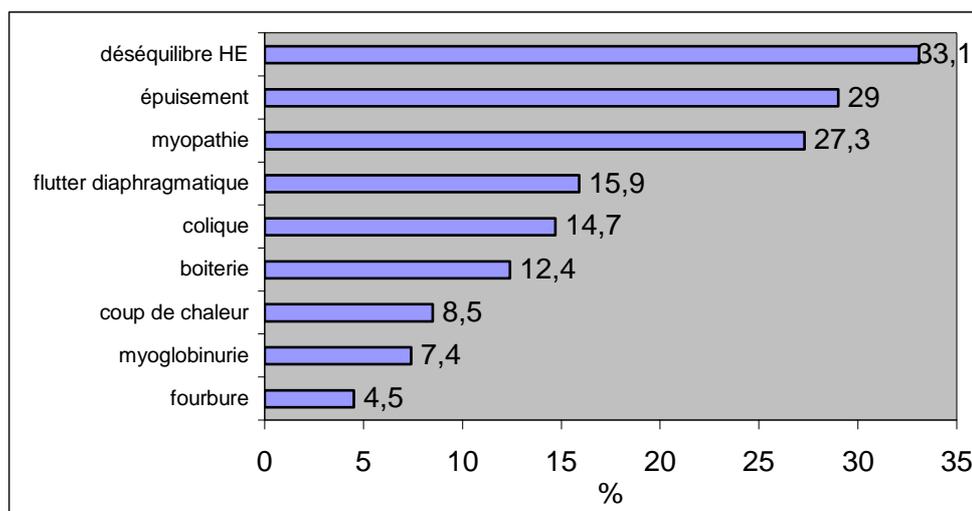


Figure 9 : *prévalence des affections diagnostiquées en épreuves d'endurance (48).*

Conclusion

Les épreuves d'endurance et le nombre de cavaliers passionnés par cette discipline sont en constante progression. Au fur et à mesure des années, le niveau des épreuves augmente et le règlement concernant ces compétitions ne cesse de s'étoffer et de se préciser. Il est donc en constante évolution et le vétérinaire occupe une place de plus en plus prépondérante. Il doit veiller au respect du cheval athlète et à son maintien en bonne santé tout au long des épreuves : il est le juge-arbitre.

Troisième partie :

ETUDE STATISTIQUE SUR LES PERFORMANCES DES CHEVAUX D'ENDURANCE EN 2001

Pendant les raids d'endurance plus que dans toutes les autres disciplines sportives, des éliminations vétérinaires sont effectuées. Ceci s'explique par des contrôles vétérinaires stricts mais acceptés par les cavaliers. En effet, l'objectif est toujours de ne pas mettre en danger la carrière sportive et la santé future du cheval. Contrairement aux autres disciplines équestres, des troubles de santé peu sévères peuvent donc mener à l'élimination. En France, environ 90% des épreuves sont courues à vitesse limitée tandis que les courses internationales se déroulent sans limitation de vitesse.

A . DEFINITIONS

Parmi les chevaux participant aux compétitions d'endurance, tous ne vont pas connaître le même destin. Pour comprendre la suite de l'exposé, il convient de préciser le sens de certains termes fréquemment utilisés dans l'étude suivante.

Cheval arrivé : cheval ayant terminé la course sans être éliminé au contrôle vétérinaire final.

Cheval classé : cheval ayant terminé la course parmi les premiers sans élimination.

Cheval éliminé : cheval forfait, abandon ou cheval éliminé lors d'un contrôle vétérinaire .

B . MATERIEL ET METHODES

Les données de 610 chevaux de 6 à 17 ans ayant participé à 16 raids nationaux et internationaux (tableau 3 et figure 10) pendant l'année 2001 en France sont étudiées (62 chevaux en moyenne par raid). Parmi les chevaux concernés par cette étude, des femelles, hongres et mâles ainsi que 11 races sont représentés dans différentes proportions (figures 12 et 13).

Course	Date	Distance en km
Tarbes (64)	Avril	130
Ribiers (06)	Mai	130
Guerlédan (22)	Mai	130
Périgord (24)	Mai	130
Cahuzac (81)	Juin	160
Le Pin (14)	Juin	130
Nancy - championnat de France (54)	Juillet	160
Nancy – CEIB (54)	Juillet	130
Moulins (03)	Juillet	130
Hauteville (50)	Août	130
Landivisiau (29)	Août	2X100
Campagne (62)	Septembre	130
Florac (48)	Septembre	160
Négrepelisse (82)	Octobre	130
Huelgoat (29)	Octobre	160
Montcuq (46)	Novembre	2X100

Tableau 3 : caractéristiques des raids étudiés courus en France en 2001

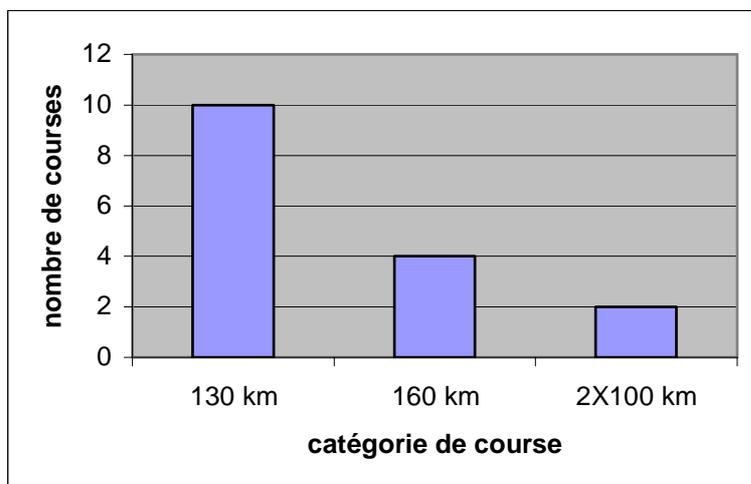


Figure 10 : Proportion des différentes catégories de courses courues en France en 2001

Pour trois catégories de longueur de raid (2x100 km, 130 km, 160 km) et pour chaque course, les paramètres suivants ont été évalués :

- Nombre de participants,
- Nombre et pourcentage de chevaux arrivés ,
- Nombre et pourcentage de forfaits, d'éliminés ou d'abandons,
- Cause d'élimination.

Concernant les éliminations, trois groupes ont été définis (tableau 4 en annexe) :

- Nombre et pourcentage d'éliminations pour boiterie (notée B) : l'étiologie est inconnue faute d'informations suffisantes mais la localisation est précisée par les vétérinaires lors de l'élimination.

Localisation de la boiterie :

- ✓ Boiterie Antérieur Droit : BAD
- ✓ Boiterie Antérieur Gauche : BAG
- ✓ Boiterie Postérieur Droit : BPD
- ✓ Boiterie Postérieur Gauche : BPG

Comme il y a plusieurs contrôles vétérinaires au sein d'une même course, les éliminations ont été datées (1^{er}, 2^{ème}, ..., ou contrôle final [=F]). Par exemple, un cheval éliminé lors du deuxième contrôle pour boiterie de l'antérieur droit sera noté : 2BAD.

- Nombre et pourcentage d'éliminations pour des raisons métaboliques sans différenciation en raison d'informations insuffisantes (notées M). Les motifs d'élimination suivants ont été regroupés sous le terme général de causes métaboliques : pouls élevé, flutter diaphragmatique, coliques, épuisement... Nous utiliserons donc cette dénomination par souci de cohérence vis à vis des termes utilisés lors des contrôles d'endurance.
- Nombre et pourcentage d'éliminations pour d'autres raisons (notées A) : forfait, abandon, blessure ou absence de notes sur la carte vétérinaire.

Des notations ont été attribuées par souci de facilité (tableau 4 en annexe) :

Cheval arrivé : 0

Cheval classé : +1

Cheval éliminé : -1

C . RESULTATS

1 – Représentation des chevaux lors des épreuves d'endurance de l'année 2001

La figure 11 donne la répartition des chevaux participant aux épreuves par catégorie d'âge. Les jeunes chevaux (i.e. les chevaux de moins de 8 ans) représentent 20,5 % de la population étudiée, les chevaux adultes (entre 8 et 10 ans) sont la majorité avec 54,3 % et on note 25,2 % de chevaux dits « vieillissants » (i.e. de plus de 10 ans) .

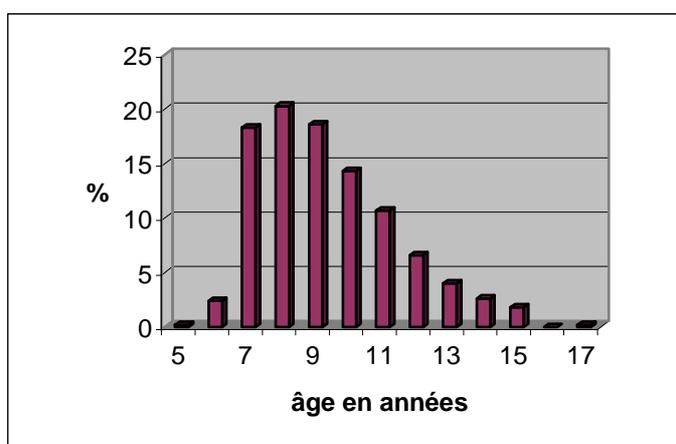


Figure 11 : Représentation des chevaux par catégorie d'âge en %

A l'aide de la figure 12, on remarque que les femelles et les hongres sont plus largement représentés que les chevaux mâles.

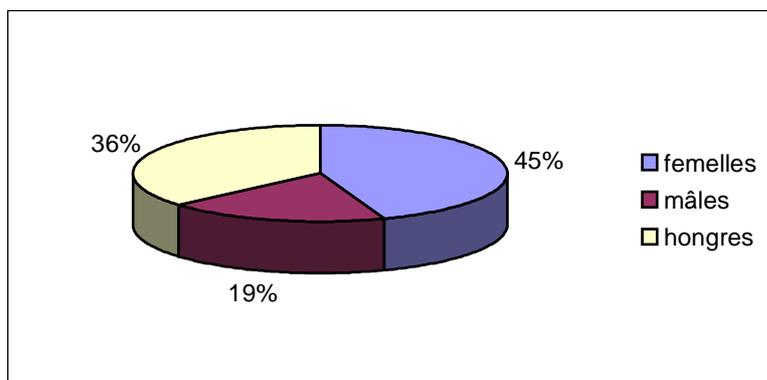


Figure 12 : Représentation des chevaux par catégorie de sexe en %

Le cheval de race arabe apparaît dans la figure 13 de loin le plus prisé pour cette discipline puisqu'il représente la moitié de l'échantillon étudié (51 %). Ensuite, les chevaux dits « OI » (i.e. origine inconnue) et « de selle » pourraient être regroupés car ces chevaux sont soit sans origine connue soit de demi-sang (ou demi papier) : en les regroupant, ils représenteraient alors 20 % des chevaux étudiés. Les 30 % restants concernent les anglo-arabes (AA), les poneys, les selles français (SF), les shagya, les trotteurs français (TF), les pur-sang anglais (PS), les barbes et arabe-barbes que l'on peut également regrouper.

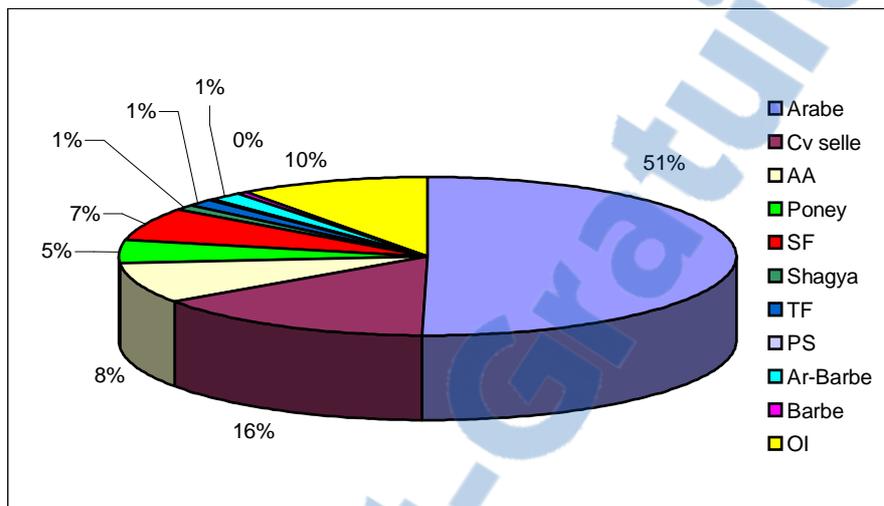


Figure 13 : Représentation des chevaux par race en %

Il apparaît donc que, contrairement aux autres disciplines équestres courantes, les compétitions d'endurance même officielles sont ouvertes à toutes les catégories de chevaux a priori, et non réservées aux chevaux dits « pleins papiers » (i.e. référencés aux « stud-book » des races de chevaux).

2 . Variation des taux d'élimination

En 2001, pour les courses concernées, sur les 972 chevaux ayant pris le départ, 466 sont arrivés au but. Ce taux à l'arrivée d'environ 50% représente une valeur relativement stable au cours de la saison 2001 (figure 14).

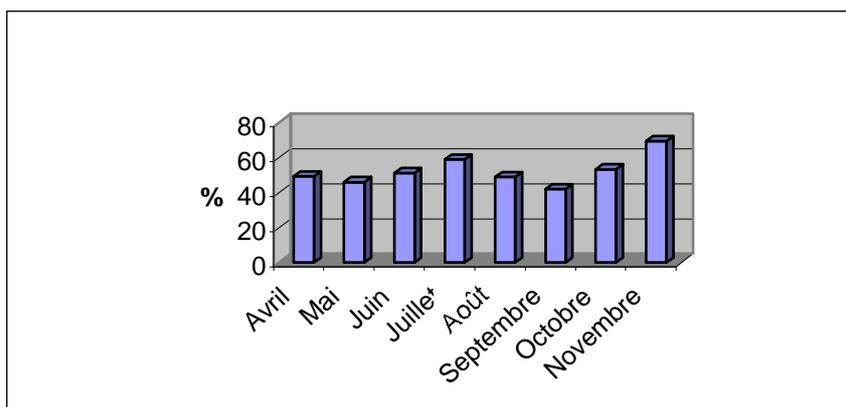


Figure 14 : % d'élimination selon la saison

Les taux de chevaux arrivés selon la catégorie de course sont réunis dans la figure 15. Dans les courses de 130 km, 160 km et 2X100 km, les chevaux finissent avec un taux respectivement de 48,6% (601 partants), 54% (240 partants) et 33,3% (131 partants).

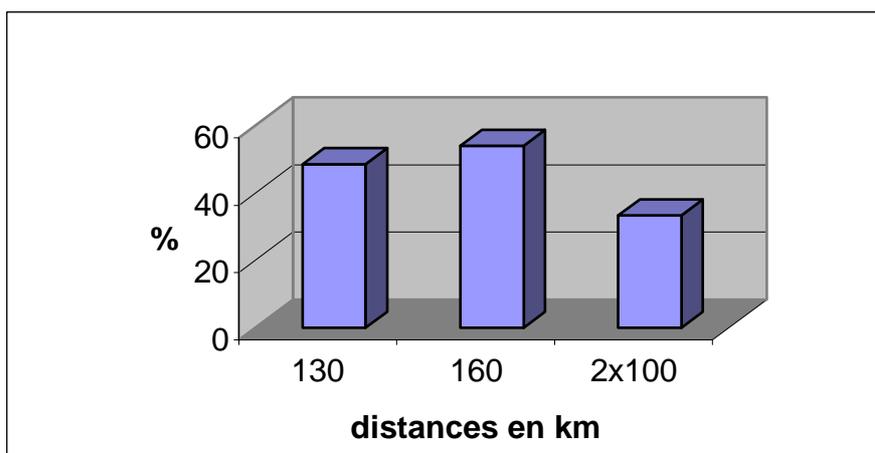


Figure 15 : pourcentages d'arrivée selon les distances

Sur les 506 éliminés, 486 chevaux (96%) sont éliminés lors du contrôle vétérinaire. Les 20 autres correspondent à un abandon ou une disqualification. Comme les raisons d'abandon sont rarement mentionnées donc connues, nous n'avons pas pu exploiter ces données.

Parmi les chevaux ayant été éliminés une fois et ayant participé à plusieurs compétitions par la suite (137 chevaux), 91 ont été éliminés de nouveau à une ou plusieurs reprises, mais pas nécessairement pour les mêmes motifs à chaque fois : le risque de récurrence d'élimination s'élève donc à 66,4%.

3 . Les motifs d'élimination

La figure 16 donne un aperçu des motifs d'élimination (boiterie, problème métabolique, autre raison) au cours de la saison 2001. Au total, 57% des chevaux éliminés le sont pour boiterie, 39% pour des troubles métaboliques et 4% pour des raisons sanitaires ou inconnues.

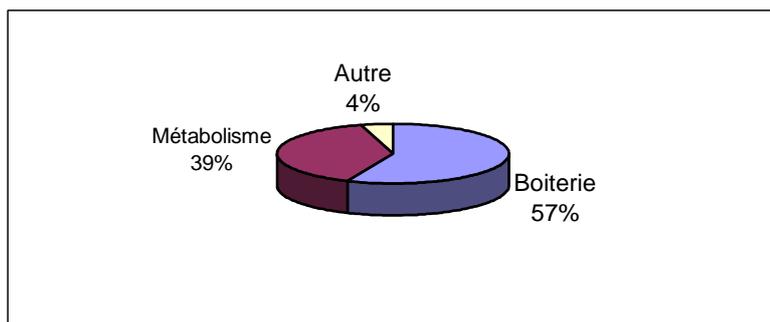


Figure 16 : causes d'élimination en % global en 2001

La figure 17 nous montre les raisons d'élimination tout au long de la course (qu'elle ait lieu au début, pendant l'épreuve ou à la fin de celle-ci) en fonction de la longueur du raid. Les pourcentages concernant les boiteries varient très peu (51,6% pour les 130 km et 54,8% pour les 160 km) entre les courses disputées sur une journée. En revanche, ils sont plus élevés lors des raids de plusieurs jours (75,5% pour les 2X100 km).

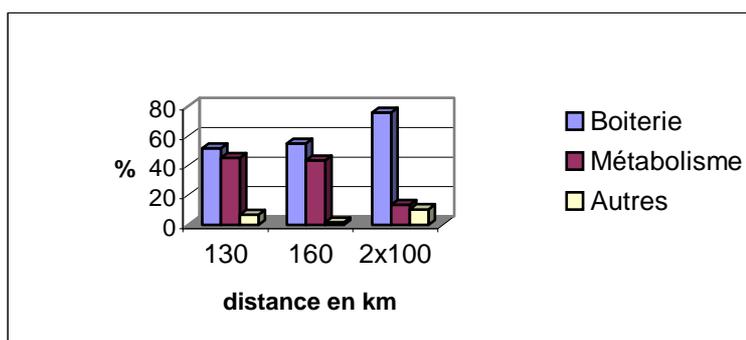


Figure 17 : causes d'élimination (en %) en fonction des courses

Une grande variation peut être observée concernant les dysfonctionnements métaboliques : ils semblent plus fréquents dans les courses de 130 km (45,2%). Lorsque la longueur du raid augmente, les pourcentages diminuent (43% pour les 160 km et 13,8% pour les 2X100 km).

Au total, 51 chevaux ont été éliminés lors des contrôles vétérinaires finaux. Ceci représente 10,1% de toutes les éliminations enregistrées. Les motifs apparaissent dans la figure 18. La tendance à l'arrivée concernant les problèmes métaboliques évoquée plus haut est confirmée : 19,6% dans les courses de 130 km, 5,9% dans celles de 160 km et seulement 2% pour les courses de 2X100 km.

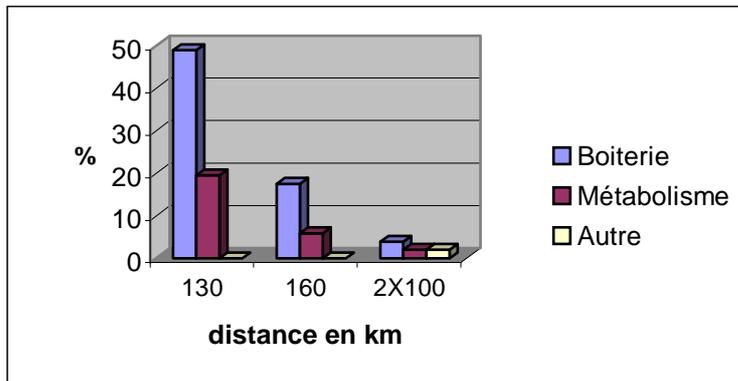


Figure 18: causes d'élimination lors du contrôle final (en %) en fonction des courses

En revanche, les éliminations pour cause de boiterie sont beaucoup plus fréquentes au contrôle final pour les épreuves se déroulant sur une journée : 49% pour les raids de 130 km et seulement 3,9% pour ceux de 2X100 km.

D'après la figure 19, on constate que, pour les raids de 2X100 km, les éliminations surviennent principalement lors des contrôles vétérinaires du premier jour (C1, C2, C3) et que ces éliminations sont le reflet des boiteries.

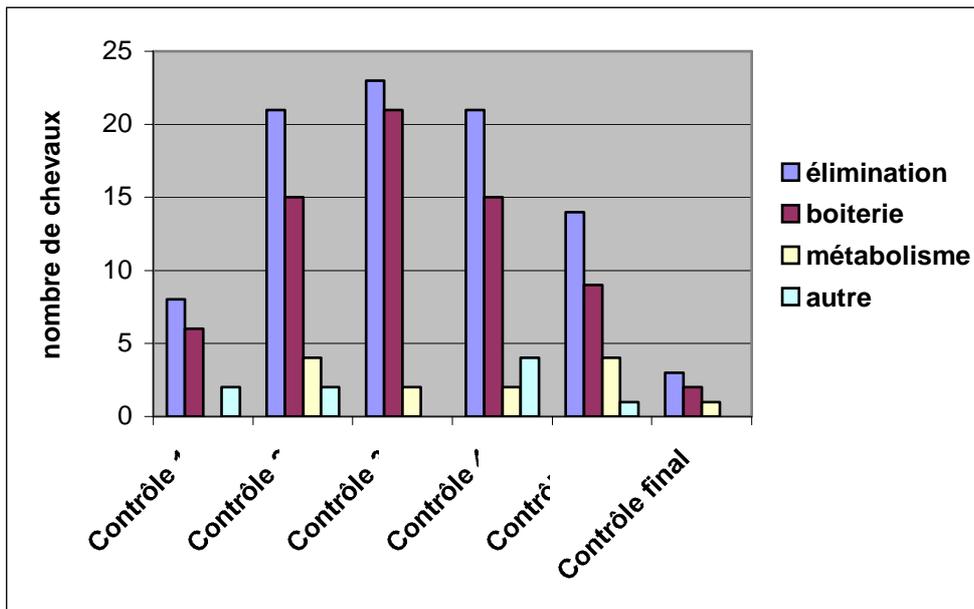


Figure 19 : causes et nombre d'éliminations à chaque contrôle d'une épreuve de 2X100 km

La figure 20 donne la proportion des différentes localisations de boiteries. 66% des chevaux éliminés pour boiterie présentaient une boiterie antérieure. Les chevaux avec une boiterie postérieure sont deux fois moins nombreux. D'autre part, lors de boiteries postérieures, les membres droit et gauche sont atteints dans les mêmes proportions alors que pour les boiteries antérieures, le membre gauche est plus souvent atteint.

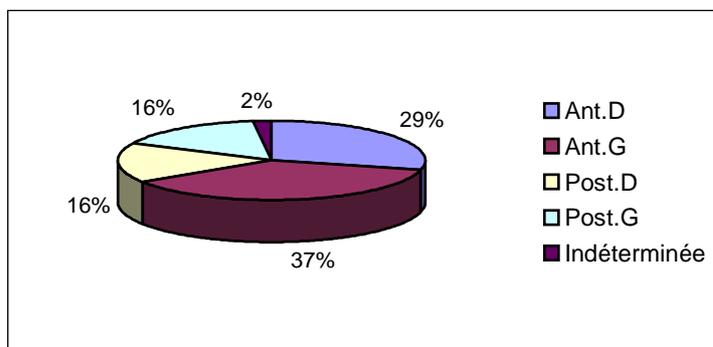


Figure 20 : localisation des différentes boiteries (en %)

Les causes d'élimination varient au cours de la saison (figure 21). Globalement, les pourcentages de boiterie sont plus élevés (de 53% en avril à 77%

en novembre) sauf en juin et juillet où les problèmes métaboliques semblent prépondérants (51,8% et 64%).

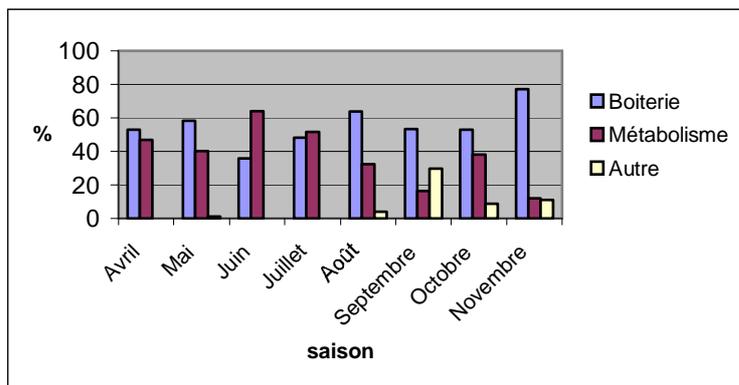


Figure 21 : causes d'élimination selon la saison (en %)

4 . Etude des performances des chevaux par catégorie

D'après la figure 22, 40,6% des mâles, 47,2% des femelles et 52,3% des hongres terminent les compétitions sans être éliminés.

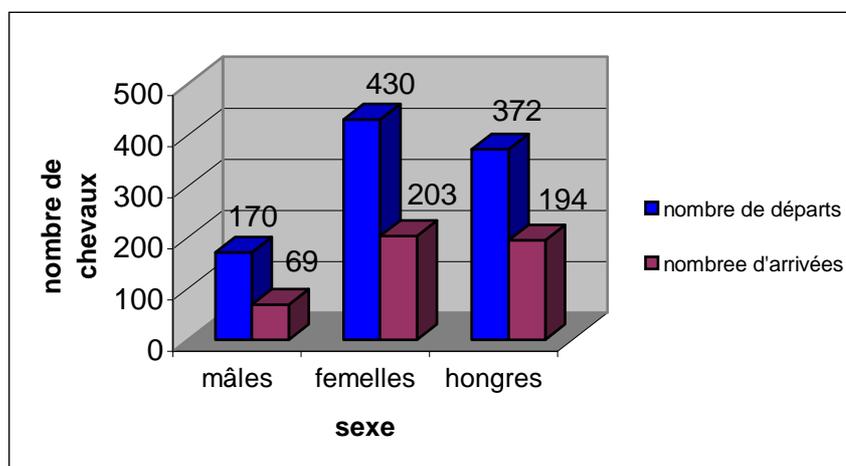


Figure 22 : proportions des arrivées par catégorie de sexe

Les proportions d'arrivées par catégorie d'âge sont données dans la figure 23 qui révèle que les pourcentages d'arrivées augmentent légèrement avec l'âge des chevaux (jeunes chevaux = 46%, chevaux « adultes » = 47,4% et chevaux vieillissants = 50,9% d'arrivées).

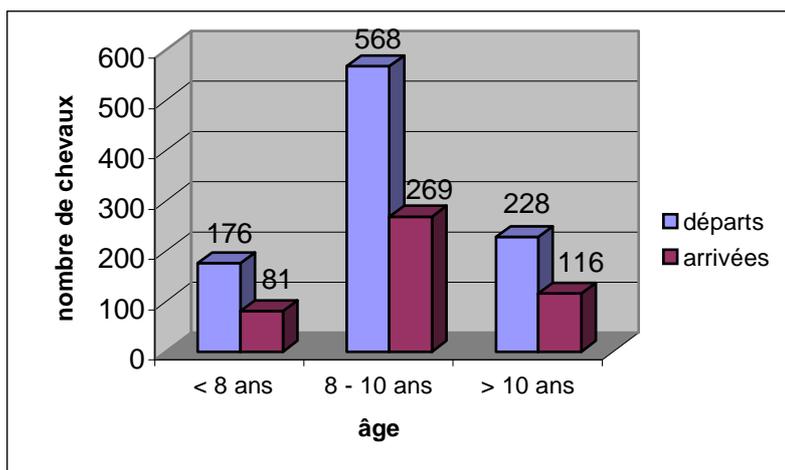


Figure 23 : proportions des arrivées par catégorie d'âge

La figure 24 donne les proportions d'arrivées par catégorie de race. Ainsi, 53,6% des poneys, 50% des OI et chevaux de selle, 49% des chevaux arabes, 48,2% des anglo-arabes arrivent au bout des courses sans élimination.

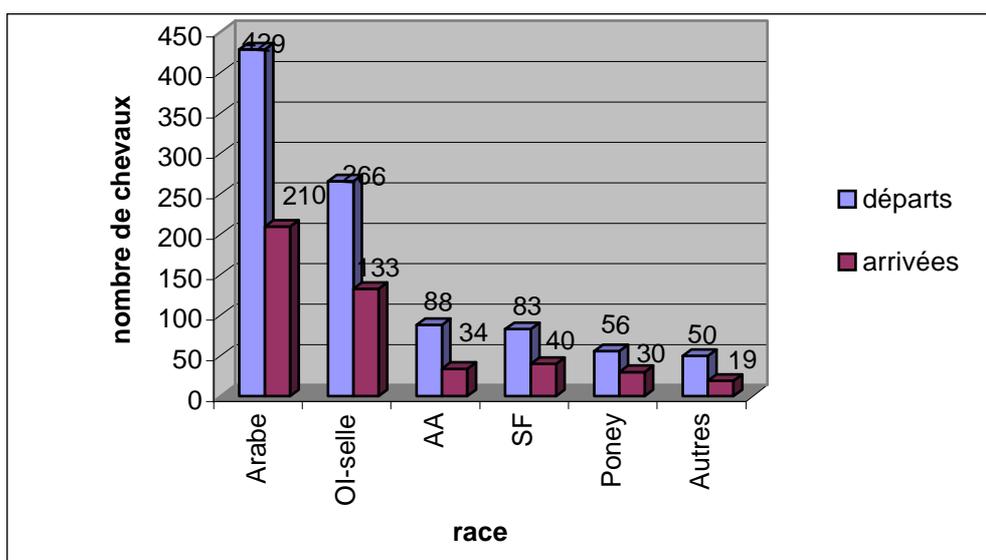


Figure 24 : proportions des arrivées par catégorie de race

Parmi les chevaux éliminés dans chaque catégorie d'âge, de race et de sexe, les pourcentages respectifs de boiteries, de problèmes métaboliques et d'autres motifs d'élimination ont été déterminés. Les résultats sont présentés dans les figures 25, 26 et 27.

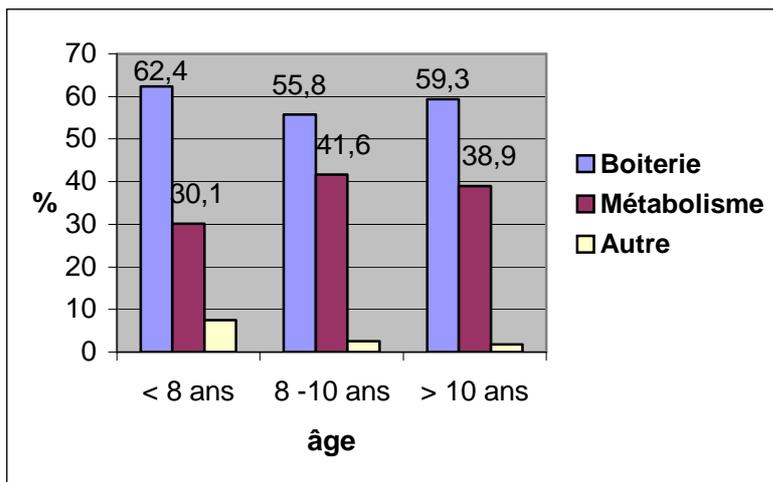


Figure 25 : Causes d'élimination (en %) en fonction de l'âge.

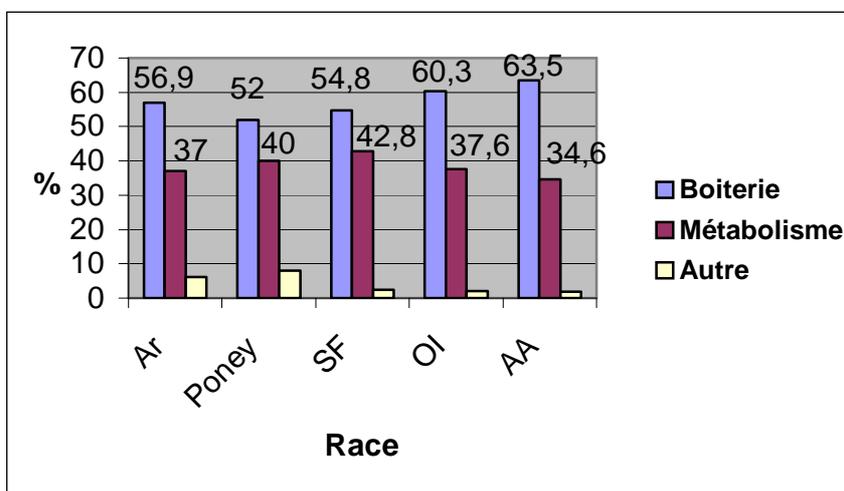


Figure 26 : Causes d'élimination (en %) en fonction de la race.

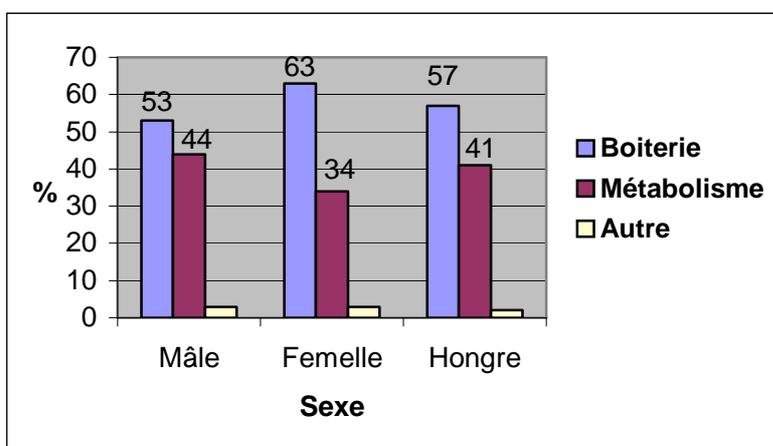


Figure 27 : Causes d'élimination (en %) en fonction du sexe.

D . DISCUSSION

1 . Analyse des résultats

Les courses de 130 km sont les plus représentées parmi les 16 courses étudiées (figure 10) donc en proportion, les résultats sont plus nombreux pour ces épreuves-là.

Le débouillage des chevaux a lieu en moyenne vers 3-4 ans, il faut ensuite 2 ans de travail progressif du cheval avant de l'engager sur une épreuve d'endurance. C'est pourquoi dans la figure 11, les chevaux les plus représentés ont entre 7 et 11 ans. Au-delà de cet âge, beaucoup sont réformés, utilisés pour d'autres disciplines ou mis à la reproduction.

Les femelles et les hongres sont plus nombreux en compétition que les mâles (figure 12) car un cheval entier est d'une part plus difficile à maîtriser et à monter et d'autre part , s'excite plus facilement en présence de ses congénères donc sa fréquence cardiaque a souvent tendance à augmenter exagérément or, ce paramètre entre dans l'évaluation du cheval et le classement final. Cependant, les mâles performants et issus de bonnes lignées présentent un grand intérêt pour la reproduction.

La race arabe est de loin la plus prisée pour cette discipline (figure 13) : en effet, le cheval arabe est volontaire, possède un bon mental, est « près du sang » et réputé dans le milieu pour résister à des températures élevées...

Les pourcentages d'arrivée selon les distances parcourues (figure 15) montrent que pour les courses d'une journée (130 et 160 km), davantage de chevaux sont éliminés sur les courses plus courtes. Ceci laisse supposer que les chevaux engagés sur de plus longues distances sont mieux entraînés. D'autre part, le taux d'arrivée pour les courses de 2 jours est beaucoup plus faible car la difficulté de l'épreuve est bien plus importante et nécessite une réelle mise en condition préalable des chevaux.

Les boiteries sont de loin la cause d'élimination la plus fréquente (figure 16). En effet, la sollicitation de l'appareil musculo-squelettique est très importante compte tenu des variations de nature et de qualité des terrains, des chocs répétés des pieds sur des sols irréguliers, de la charge de travail et de l'intensité et la durée de l'effort fourni.

Les échecs métaboliques (figures 17 et 18) sont plus nombreux dans les courses de courte distance. Ceci s'explique certainement par une vitesse plus élevée dans ce type d'épreuves. Cela laisse également penser que plus la difficulté des courses augmente, plus d'une part les chevaux y participant subissent une sélection stricte sur leur aptitude sportive, un entraînement adapté, soutenu et régulier et plus d'autre part les cavaliers sont confirmés et expérimentés.

La proportion de boiteries au contrôle final est plus élevée pour les épreuves de 130 km que celles de 2X100 km (figure 18) alors que le nombre total de boiteries est supérieur pour les courses de 2X100 km (figure 17). En s'appuyant sur ces résultats et selon la logique, on pourrait s'attendre à un très fort pourcentage d'éliminations lors du 2^{ème} jour d'une épreuve de 2X100 km. Or, sur la base de ce raisonnement, les résultats de la figure 19 paraissent aberrants. En effet, seules deux courses de 2X100 km sont étudiées (Landivisiau et Montcuq) et le nombre de partants dans la 2^{ème} course est nettement supérieur donc les résultats pour ce raid seront plus nombreux. Comme cette épreuve (Montcuq) se déroule sur des terrains particulièrement durs et irréguliers, les signes de défaillance sont donc plus précoces.

Le nombre de boiteries antérieures est très nettement supérieur à celui des boiteries postérieures (figure 20). Ce résultat vient confirmer les constatations de la pratique courante. En effet, lors de son déplacement, le cheval met davantage de poids sur son avant-main donc l'expose à des traumatismes plus importants. Cependant, les boiteries postérieures sont difficiles à détecter donc sont très certainement sous-diagnostiquées. La plus grande proportion de boiteries de l'antérieur gauche par rapport à celles de l'antérieur droit peut peut-être s'expliquer en partie par le fait que les cavaliers trottent « enlevé » sur le diagonal gauche le plus souvent donc soulage l'antérieur droit lorsqu'il est à l'appui (car le cavalier est en suspension) et surcharge l'antérieur gauche lorsqu'il entre à son tour en phase d'appui (car le cavalier est assis).

Globalement, les taux d'élimination (environ 50 %) sont relativement stables au cours des saisons (figure 14) mais les raisons d'élimination varient beaucoup (figure 21). D'avril à novembre, les boiteries sont prépondérantes à l'exception de juin et juillet où les problèmes métaboliques sont nettement supérieurs, ceci très certainement en raison de la chaleur. En Août pourtant, on ne retrouve pas cette tendance mais sur les 2 compétitions de ce mois, l'une était une 2X100 km où le

système musculo-squelettique est particulièrement mis à l'épreuve chez le cheval. Ceci est également confirmé par la forte proportion de boiterie (77 %) en novembre pour la course de Montcuq (2X100 km).

Pour savoir si le sexe, l'âge et la race des chevaux ont une influence sur la performance des chevaux, nous avons réalisé un test du « Khi deux » à partir des résultats obtenus dans les figures 22 à 24. Ce test a révélé que ni la race ni l'âge n'ont d'influence sur le nombre de chevaux à l'arrivée contrairement au sexe. Après avoir effectué un test de comparaison multiple avec correction de Bonferroni, il apparaît que les hongres ont de manière significative, un taux d'arrivée plus important que les femelles et les mâles. En revanche, parmi les chevaux ayant terminé les compétitions, aucune différence significative de performance en fonction du sexe, de l'âge ou de la race n'existe. Les différents tests sont présentés dans les tableaux 5 à 10 en annexe.

Ensuite, nous avons cherché à déterminer par un test du « Khi deux » si le motif d'élimination des chevaux était lié à la race, le sexe ou l'âge. D'après les résultats présentés dans les tableaux 12, 13 et 14 en annexe, ce motif d'élimination ne semble être influencé par aucun des trois critères.

Cependant, s'il n'a pas été trouvé d'effet, cela ne signifie pas pour autant qu'il n'en existe pas un réellement : un effet peut dépendre de plusieurs facteurs dont certains n'étaient pas disponibles pour l'étude (ex : facteurs terrain, climat...).

Enfin, ce n'est pas le même vétérinaire qui voit le cheval à chaque contrôle donc il existe un certain degré de subjectivité dans l'évaluation du cheval et de sa locomotion. Pour essayer de pallier ce problème, les vétérinaires doivent dans l'absolu évaluer tous ensemble chaque cheval au départ et tenter d'établir un « étalonnage » relatif et avoir les critères de jugement les plus proches possible. Mais sur le terrain, cette résolution est difficile à réaliser faute de temps.

2 . Discussion

Au cours de l'étude statistique précédente, nous venons d'envisager les principales causes d'élimination, leur prévalence et leurs proportions relatives en fonction des différents types de courses et des caractéristiques des chevaux. Pour qu'un athlète soit au maximum de ses capacités le jour d'une compétition, il faut le placer dans des conditions optimales que ce soit avant ou pendant l'épreuve.

Pour réduire au maximum les contre-performances du cheval en compétition, il convient donc de connaître les facteurs de risque pour pouvoir anticiper et les éviter .

Facteurs de risque de contre-performance (48) :

- cheval ne s'étant jamais qualifié sur la distance de l'épreuve courue
- distance de transport supérieure à 500 km
- durée de transport supérieure à 7 heures
- moins de 2 jours de repos entre arrivée sur site et course
- cheval n'ayant jamais concouru à ce niveau
- erreur alimentaire flagrante
- cavalier amateur ou néophyte
- préparation insuffisante
- cheval ayant déjà été éliminé dans l'année
- cavalier n'ayant jamais couru avec ce cheval (cheval loué)
- vitesse excessive par rapport aux aptitudes du cheval
- cheval habituellement au pré 24h/24
- cheval surmené ou surentraîné
- cheval gras ou obèse
- cheval souffrant d'une maladie chronique ou d'un problème récurrent
- cheval en bout de ferrure ou ferrure mal adaptée
- cheval anormalement maigre

Ainsi, après avoir répertorié les facteurs de risque d'intolérance à l'exercice, la prévention de ces risques est plus aisée.

Quelques conseils peuvent être donnés aux cavaliers pour la préparation des chevaux avant les épreuves :

- ✓ éviter les changements alimentaires dans la semaine précédant la course,
- ✓ ne pas augmenter la ration la veille de la course,
- ✓ habituer le cheval à rester au box
- ✓ préférer un travail régulier et quasi-quotidien de musculation et d'endurance du cheval plutôt que des séances ponctuelles de travail d'intensité élevée

En ce qui concerne l'organisation des épreuves :

- ✓ il serait souhaitable que les chevaux puissent arriver sur le site au moins 3 jours avant la course afin de récupérer du transport.
- ✓ Peut-être faudrait-il également durcir la sélection et la qualification des cavaliers et des chevaux pour participer à des épreuves supérieures à 90 kilomètres de façon à n'autoriser sur ces courses que des athlètes possédant un minimum d'expérience.

Le profil du cheval à risque est un cheval débutant ou n'ayant jamais réussi à se qualifier à ce niveau de la compétition et ayant effectué un long voyage pour arriver sur le site de l'épreuve. Il faut donc veiller particulièrement à ne pas précipiter la carrière du cheval et à lui laisser le temps de récupérer après un long trajet.

Les vétérinaires quant à eux, doivent rechercher en premier lieu les signes de déshydratation, de fatigue et d'atteinte musculaire sur les chevaux examinés.

CONCLUSION

La compétition d'endurance requiert le synchronisme et le développement des systèmes métabolique et musculo-squelettique. La boiterie est la cause d'élimination la plus fréquente en compétition. Elle peut être liée à un travail prolongé sur des terrains défavorables ou à la participation intensive à des compétitions avant l'atteinte d'une maturité suffisante des structures osseuses, ligamentaires et tendineuses. La déshydratation, les pertes électrolytiques et énergétiques résultent d'un exercice prolongé mais sont contrôlables pendant la course par la supplémentation en énergie et l'adaptation de l'allure du cheval aux difficultés de la compétition. Le cheval est un athlète performant et généreux : il incombe donc à son cavalier de juger et de gérer les différents temps précédant et composant la course en limitant par son anticipation et sa vigilance les facteurs de risques de contre-performance et en adaptant la charge et l'intensité du travail à chaque situation.

L'endurance équestre est une discipline qui implique une énorme sollicitation du cheval pouvant conduire à de graves désordres en l'absence de contrôles réguliers et de suivi de l'athlète. Heureusement, cette discipline est très médicalisée et le vétérinaire joue un rôle prépondérant vis à vis de la protection du cheval. De nombreux contrôles vétérinaires sont ainsi mis en place tout au long de chaque course de façon à évaluer aux différents temps de l'épreuve l'état de santé de l'athlète et son aptitude à poursuivre l'effort sans risque exagéré. Par conséquent, la carrière sportive du cheval étant ménagée, elle pourra être poursuivie.

Enfin, cette étude statistique montre que les boiteries sont un problème majeur en course d'endurance. Les performances des chevaux dépendent moins de leurs caractéristiques propres (sexe, âge, race) que de la maîtrise des nombreux facteurs de risque précités (entraînement, alimentation, expérience du cavalier...) d'une part et de critères plus difficiles à objectiver d'autre part (conditions climatiques, dénivelée des raids, nature globale des terrains...).

ANNEXES

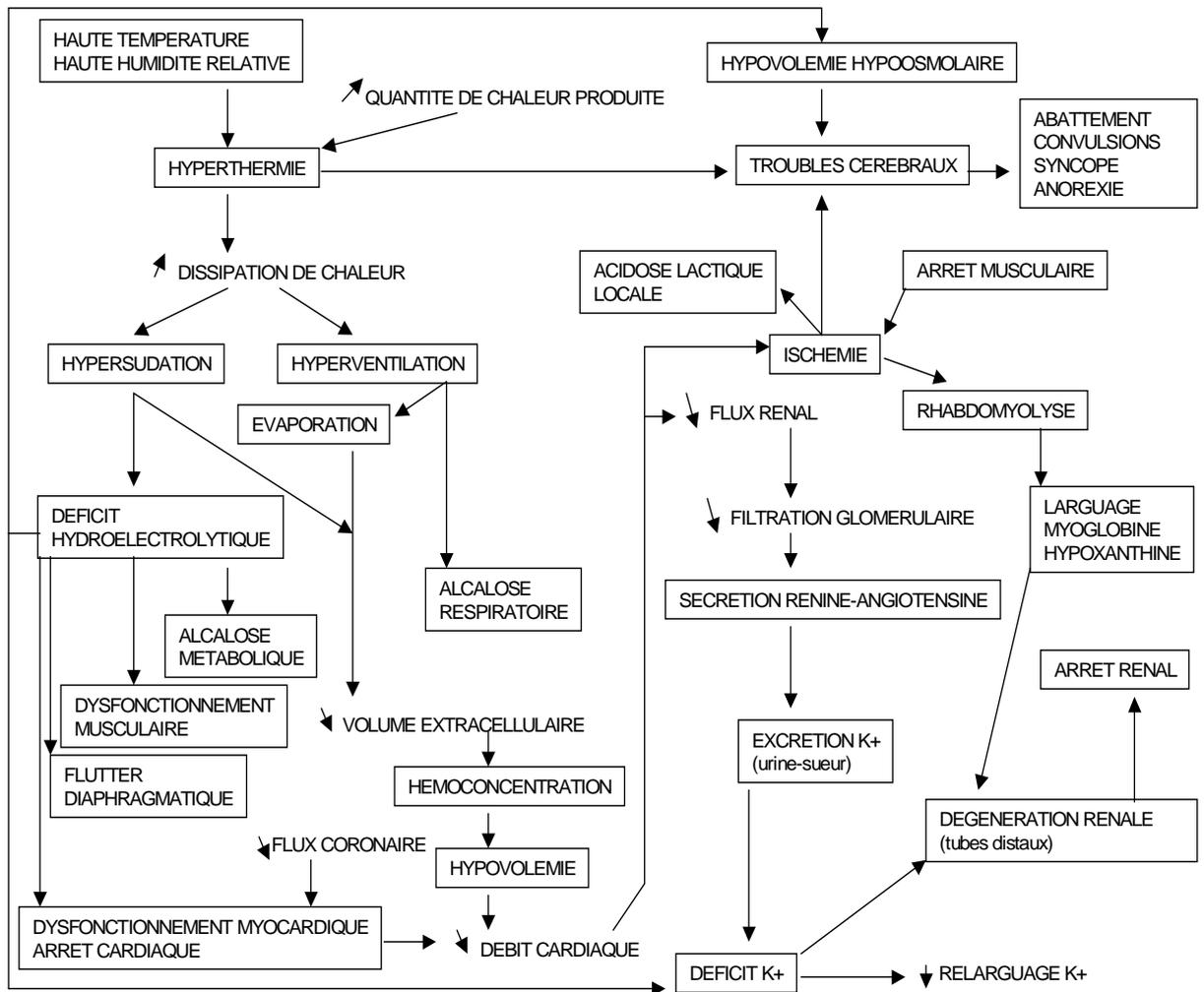


Figure 7 : schéma général de la physiopathologie des raids équestres d'endurance

N° Cheval	Tarbes	Ribiers	Guerledan	Périgord	Cahuzac	Le Pin	Nancy-Fce	Nancy-CEIB	Moulins	Hauteville	Landivisiau	Campagne	Florac	Négrepelisse	Huelgoat	Montcuq
1									-1 2bag							-1 1bag
2				0									-1 3bag			
3									-1 2bag					-1 a		
4														-1 2m		
5					0											
6						-1 3m					+1					
7			+1				+1									
8					0								-1 2bag			
9	-1 3bad															
10			-1 3m								+1		+1			
11												0				
12			+1					+1							-1 fbpq	
13	+1					+1							+1			
14	+1						0						-1 fbad			
15									-1 2m					-1 2m		-1 5bad

Tableau 4 : exemplaire des données concernant les chevaux et les courses de l'année 2001

NB : +1 (cheval classé), 0 (cheval arrivé), -1 (cheval éliminé)

TESTS D'INDEPENDANCE (X²) - effectifs observés
- effectifs théoriques

1 . Le nombre de chevaux à l'arrivée dépend-il du sexe?

	MALE	FEMELLE	HONGRE	TOTAL
NON ARRIVES	101 88.5	227 224	178 194	506
ARRIVES	69 81.5	203 206	194 178	466
TOTAL	170	430	372	972

Tableau 5

X² = 6,52 et P<5%

Conclusion : le sexe de l'animal a une influence sur le nombre d'arrivées.

2 . Le nombre de chevaux à l'arrivée dépend-il de l'âge ?

	≤ 7 ans	8 – 10 ans	≥ 11 ans	TOTAL
NON ARRIVES	95 92	299 296	112 119	506
ARRIVES	81 84	269 272	116 109	466
TOTAL	176	568	228	972

Tableau 6

X² = 1,13 et P>5%

Conclusion : l'âge de l'animal n'a pas d'influence sur le nombre d'arrivées.

3 . Le nombre de chevaux à l'arrivée dépend-il de la race ?

	Ar	OI-Selle	SF	Poney	AA	Autres	TOTAL
NON ARRIVES	219 223	133 138	43 43	26 29	54 46	31 26	506
ARRIVES	210 206	133 128	40 40	30 27	34 42	19 24	466
TOTAL	429	266	83	56	88	50	972

Tableau 7

X² = 6,09 et P>5%

Conclusion : La race de l'animal n'a pas d'influence sur le nombre d'arrivées.

4 . Le sexe de l'animal a-t-il une influence sur la performance ?

	MALES	FEMELLES	HONGRES	TOTAL
ARRIVES	37 32	89 94	90 90	216
CLASSES	32 37	114 109	104 104	250
TOTAL	69	203	194	466

Tableau 8

$X^2 = 1,952$ et $P > 5\%$

Conclusion : le sexe n'a pas d'influence sur la performance.

5 . L'âge de l'animal a-t-il une influence sur la performance ?

	≤ 7 ans	8 – 10 ans	≥ 11 ans	TOTAL
ARRIVES	44 38	113 125	59 53	216
CLASSES	37 43	157 145	56 62	250
TOTAL	81	270	115	466

Tableau 9

$X^2 = 5,19$ et $P > 5\%$

Conclusion : l'âge n'a pas d'influence sur la performance.

6 . La race de l'animal a-t-elle une influence sur la performance ?

	Ar	OI-Selle	SF	Poney	AA	Autres	Total
ARRIVES	92 98	62 58	17 19	17 14	14 17	14 10	216
CLASSES	119 113	64 68	24 22	14 17	22 19	7 11	250
TOTAL	211	126	41	31	36	21	466

Tableau 10

$X^2 = 6,819$ et $P > 5\%$

Conclusion : la race n'a pas d'influence sur la performance.

7 . Le sexe de l'animal a-t-il une influence sur le motif d'élimination ?

SEXE	MALE	FEMELLE	HONGRE	TOTAL
BOITERIE	54	142	102	298
	59	133	105	
METABOLISME	44	78	72	194
	39	87	69	
TOTAL	98	220	174	492

Tableau 11

$X^2 = 2,96$ et $P > 5\%$

Conclusion : le sexe de l'animal n'a pas d'influence sur le motif d'élimination.

8 . L'âge a-t-il une influence sur le motif d'élimination ?

AGE	≤ 7 ans	8 – 10 ans	≥ 11 ans	TOTAL
BOITERIE	60	170	68	298
	53	178	67	
METABOLISME	27	124	43	194
	34	116	44	
TOTAL	87	294	111	492

Tableau 12

$X^2 = 3,519$ et $P > 5\%$

Conclusion : l'âge n'a pas d'influence sur le motif d'élimination.

9 . La race a-t-elle une influence sur le motif d'élimination ?

RACE	Ar	OI	SF	Poney	AA	Autres	TOTAL
BOITERIE	127	87	21	13	34	16	298
	125	84	23	14	32	21	
METABOLISME	79	52	17	10	18	18	194
	81	55	15	9	20	13	
TOTAL	206	139	38	23	52	34	492

Tableau 13

$X^2 = 4,048$ et $P > 5\%$

Conclusion : la race n'a pas d'influence sur le motif d'élimination.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : facteurs physiologiques majeurs d'optimisation de la performance chez le cheval (p6)

Figure 2 : mécanismes de transfert de chaleur corporelle du cheval au cours de l'exercice (p10)

Figure 3 : glycolyse, oxydation des acides gras et cycle de Krebs (p16)

Figure 3' : oxydation des acides gras (p22)

Figure 4 : la chaîne de transport de l'oxygène avec ses différentes étapes (p24)

Figure 5 : pressions partielles de gaz en relation avec la ventilation, la perfusion, la diffusion au repos et à l'effort (p25)

Figure 6 : illustration de quelques problèmes respiratoires subcliniques potentiellement responsables de contre-performances en raison d'échanges gazeux inadéquats (p26)

Figure 7 : schéma général de la physiopathologie des raids équestres d'endurance (p71)

Figure 8 : schéma simplifié de la physiopathologie des raids équestres d'endurance (p48)

Figure 9 : prévalence des affections diagnostiquées en épreuves d'endurance (p51)

Figure 10 : proportion des différentes catégories de courses courues en France en 2001 (p54)

Figure 11 : représentation des chevaux par catégorie d'âge en % (p56)

Figure 12 : représentation des chevaux par catégorie de sexe en % (p56)

Figure 13 : représentation des chevaux par race en % (p57)

Figure 14 : % d'élimination selon la saison (p58)

Figure 15 : % d'arrivées selon les distances (p58)

Figure 16 : causes d'élimination en % global en 2001 (p59)

Figure 17 : causes d'élimination (en %) en fonction des courses (p59)

Figure 18 : causes d'élimination lors du contrôle final (en %) en fonction des courses (p60)

Figure 19 : causes et nombre d'éliminations à chaque contrôle d'une épreuve de 2X100 km (p61)

Figure 20 : localisation des différentes boiteries en % (p61)

Figure 21 : causes d'élimination selon la saison en % (p62)

Figure 22 : proportions des arrivées par catégorie de sexe (p62)

Figure 23 : proportions des arrivées par catégorie d'âge (p63)

Figure 24 : proportions des arrivées par catégorie de race (p63)

Figure 25 : causes d'élimination (en %) en fonction de l'âge (p64)

Figure 26 : causes d'élimination (en %) en fonction de la race (p64)

Figure 27 : causes d'élimination (en %) en fonction du sexe (p64)

Tableau 1 : composition électrolytique de la sueur et du plasma équins en mmol/l (p12)

Tableau 2 : caractéristiques des différents types de fibres musculaires chez le cheval (p19)

Tableau 3 : caractéristiques des raids étudiés courus en France en 2001 (p54)

Tableau 4 : exemplaire des données concernant les chevaux et les courses de 2001 (p72)

Tableau 5 : X^2 – influence du sexe sur le nombre d'arrivées (p73)

Tableau 6 : X^2 – influence de l'âge sur le nombre d'arrivées (p73)

Tableau 7 : X^2 – influence de la race sur le nombre d'arrivées (p74)

Tableau 8 : X^2 – influence du sexe sur la performance (p74)

Tableau 9 : X^2 – influence de l'âge sur la performance (p74)

Tableau 10 : X^2 – influence de la race sur la performance (p74)

Tableau 11 : X^2 – influence du sexe sur le motif d'élimination (p75)

Tableau 12 : X^2 – influence de l'âge sur le motif d'élimination (p75)

Tableau 13 : X^2 – influence de la race sur le motif d'élimination (p75)

BIBLIOGRAPHIE

- 1 . Anderson MG.
The influence of exercise on serum levels. *Equine Vet J*, **7** : 160, 1975.
- 2 . Bayly WM, Slocombe RF.
Ventilatory responses of horses to exercise. *J Equine Vet Sci*, **11** : 5, 1991.
- 3 . Beech J, Lindborg S, Fletcher, et al.
Caffeine contractures twitch characteristics and the threshold for Ca²⁺-induced Ca²⁺ release in skeletal muscle from horses with chronic intermittent rhabdomyolysis. *Res Vet Sci*, **54** : 110, 1993.
- 4 . Bruin G, Kuipers H, Keizer HA, et al.
Adaptation and overtraining in horses subjected to increasing training loads. *J Appl Physiol*, **76** : 1980, 1994.
- 5 . Carlson GP.
Thermoregulation and fluid balance in the exercising horses. In Snow, Persson, Rose (eds) : *Equine Exercise Physiology*. Cambridge, England, Granta Editions, p 291, 1983.
- 6 . Carlson GP.
Clinical chemistry tests. In Smith (ed) : *Large Animal Internal Medicine*. St.Louis, CV Mosby, p 393, 1990.
- 7 . Cirelli AA.
Principles of nutrition for performance horses : Part 1. *The Equine Athlete*, **6(4)** : 8, 1993.
- 8 . Clausen T.
Significance of sodium-potassium pump regulation in skeletal muscle. *News in Physiologic Sciences*, **5** : 148, 1990.
- 9 . Coenen M, Meyer H, Steinbrenner B.
Effects of NaCl supplementation before exercise on metabolism of water and electrolytes. *Equine Vet J*, **18** : 270, 1995.
- 10 . Comi G, Testa D, Cornelio F, et al.
Potassium depletion myopathy : a clinical and morphologic study of 6 cases. *Muscle Nerve*, **8** : 17, 1985.
- 11 . Ecker GL, Lindinger MI.
Fluid and electrolytes : in short supply? Part 1 and 2. *The Equine Athlete*, **7(3, 4)** : 15, 1, 1994.

- 12 . Ecker GL.
Management of horses participating in endurance rides. *Compendium Continuing Educ Practicing Vet*, **18** : 566, 1996.
- 13 . Ecker GL, Lindinger MI.
Effects of terrain, speed, temperature and distance on water and ion losses. *Equine Vet J*, **18** : 298, 1995.
- 14 . Essen B, Lindholm A, Thorton J.
Fibre types, enzyme activities and substrate utilization in skeletal muscles of horses competing in endurance rides. *Equine Vet J*, **16(3)** : 197, 1984.
- 15 . Evans DL.
The cardiovascular system : cardiovascular adaptations to exercise. In Hodgson, Rose (eds) : *The Athletic Horse*. 132-140, 1994
- 16 . Evans DL, Rose RJ.
Cardiovascular and respiratory responses to exercise in thoroughbred horses. *J Exp Biol*, **134** : 397, 1988.
- 17 . Flaminio JBF, Rush BR.
Fluid and electrolyte balance in endurance horses. *Vet Clinics of North Am : Equine Practice*, **14** : **1**, 147-158, 1998.
- 18 . Foreman JH , Bayly WM, Grant BD, et al.
Standardized exercise test and daily heart rate responses of thoroughbreds undergoing conventional race training and detraining. *Am J Vet Res*, **51** : 914, 1990.
- 19 . Foreman JH, Lawrence LM.
Lameness and heart rate elevation in the exercising horse. *J Equine Vet Sci (Equine Sports Medicine)* **Nov/Dec** : 353, 1991.
- 20 . Fowler ME.
Veterinary problems during endurance trail rides. *J of South Africa Vet Assoc*, **51**, 87-91, 1980.
- 21 . Frazier DL.
Synchronous diaphragmatic flutter. *37th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners*, San Francisco, California, 1991-1992. AAEP, Lexington, USA, 833-834, 1992.
- 22 . Gollnick PD, Bertocci LA, Kelso TB, et al.
The effect of high intensity exercise on the respiratory capacity of skeletal muscle. *Pflugers Arch*, **415** : 407, 1990.
- 23 . Harold C, Schott II, Charlton MR.
Post-exertional ileus in an Arabian gelding. *Compendium Continuing Educ Practicing Vet*, 559-563, **may** 1996.

- 24 . Harris P, Snow DH.
Plasma potassium and lactate concentrations in Thoroughbred horses during exercise of varying intensity. *Equine Vet J*, **23** : 220, 1992.
- 25 . Hodgson DR, Mc Cutcheon LJ, Byrd SK, et al.
Dissipation of metabolic heat in the horse during exercise. *J Appl Physiol*, **74** : 1164, 1993.
- 26 . Hodgson DR, Rose RJ, Allen JR.
Muscle glycogen depletion and repletion patterns in horses performing various distances of endurance exercise. In Snow, Persson, Rose (eds) : *Equine Exercise Physiology*. Cambridge, England, Granta Editions, p 229, 1983.
- 27 . Hyypä S, Saastamoinen M, et al.
Effect of a post-exercise fat-supplemented diet on muscle glycogen repletion. *Equine Vet J*, **suppl 30**, 493-498, 1999.
- 28 . Katz LM, Bayly WM, Hines MT, Sides RH.
Differences in the ventilatory responses of horses and ponies to exercise of varying intensities. *Equine Vet J*, **suppl 30**, 49-51, 1999.
- 29 . Kerr MG, Snow DH.
Plasma enzyme activities in endurance horses. In Snow, Persson, Rose (eds) : *Equine Exercise Physiology*. Cambridge, England, Granta Editions, p 432, 1983.
- 30 . Kohn CW, Hinchcliff KW, Mc Keever KH.
Effect of ambient temperature and humidity on pulmonary artery temperature of exercising horses. *Equine Vet J*, **suppl 30**, 404-411, 1999.
- 31 . Koterba A, Carlson GP.
Acid-base and electrolyte alterations in horses with exertional rhabdomyolysis. *J Am Vet Med Assoc*, **180** : 303, 1982.
- 32 . Lanyon LE.
The physiological basis of training the skeleton. *Equine Vet J*, **suppl 9**, 8-13, 1990.
- 33 . Lawrence LM.
Nutrition and fuel utilization in the athletic horse. *Vet Clinics North Am : Equine Practice*, **6** : 393, 1990.
- 34 . Lopez-Rivero JL, Morales-Lopez JL, Galisteo AM, et al.
Muscle fibre type composition in untrained and endurance-trained Andalusian and Arab horses. *Equine Vet J*, **23** : 91, 1991.
- 35 . Lopez-Rivero JL, Serrano AL, Henckel P, et al.
Muscle fibre type composition and fibre size in successfully and unsuccessfully endurance-raced horses. *J Appl Physiol*, **75** : 1758, 1993.

- 36 . Lucke JN, Hall GM.
Long distance exercise in the horse : Golden horse ride 1978. *Vet Rec*, **106** : 405, 1980.
- 37 . Mc Dougall RW, Reddan W, Layton Cr, et al.
Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *J Appl Physiol*, **36** : 538, 1974.
- 38 . Mc Miken DF.
An energetic basis of equine performance, Section 2 : Exercise physiology. *Equine Vet J*, **15** : 123, 1983.
- 39 . Meyers MC, Potter GD, Evans JW, et al.
Physiologic and metabolic response of exercising horses to added dietary fat. *Equine Vet Sci*, **9** : 218, 1989.
- 40 . Milne DW, Gabel AA, Muir WW, et al.
Effects of training on heart rate, cardiac output, and lactic acid in standardbred horses, using a standardized exercise test. *J Equine Med Surg*, **1** : 131, 1977.
- 41 . Naylor JRJ, Bayly WN, Gollnick PD, et al.
Effects of dehydration on thermoregulatory responses of horses during low-intensity exercise. *J Appl Physiol*, **75** : 994, 1993.
- 42 . Oldham SL, Potter GD, Evans JW, et al.
Storage and mobilization of muscle glycogen in exercising horses fed a fat-supplemented diet. *Equine Vet Sci*, **10** : 353, 1990.
- 43 . Pelletier N, Bias D, Vrins A, et al.
Effects of submaximal exercise and training on dead space ventilation in the horse. In Gillespie, Robinson (eds) : *Equine Exercise Physiology 2*. Davis, CA, ICEEP, p 225, 1987.
- 44 . Règlement FFE endurance 2001. (page consultée le 10.01.2002). Adresse URL : <http://ourworld.compuserve.com/homepages/arbre/>
- 45 . Ridgway KJ.
Training endurance horses : conditioning different tissue types. In Hodgson, Rose (eds) : *The Athletic Horse*, p 411, 1994.
- 46 . Rivero JLL, Serrano AL, Quiroz-rothe E, et al.
Coordinated changes of kinematics and muscle fibre properties with prolonged endurance training. *Equine Vet J*, **33**, p 104-108, 2001.
- 47 . Robert C.
Le test de récupération en épreuve nationale d'endurance équestre. *Pratique Vétérinaire Equine*, **33** : 129, 45-52, 2000.

- 48 . Robert C.
Les soins vétérinaires sur les épreuves d'endurance équestre : analyse de 200 cas.
Proceeding du congrès de l'AVEF, Le Touquet, France, novembre 2002.
- 49 . Rose RJ, Purdue RA, Hensley RA, et al.
Plasma biochemistry alterations in horses during an endurance ride. *Equine Vet J*, **9** : 122, 1977.
- 50 . Rose RJ, Ilkiw JE, Martin ICA.
Blood-gas, acid-base and hematology values in horses during an endurance ride.
Equine Vet J, **11** : 56, 1979.
- 51 . Rose RJ, Arnold, Church, et al.
Plasma and sweat electrolyte concentrations in the horse during long-distance exercise. *Equine Vet J*, **12** : 19, 1980.
- 52 . Rose RJ.
Electrolytes : clinical applications. *Vet Clinics North Am : Equine Practice*, **6** : 281, 1990.
- 53 . Rubin CT, McLeod VJ, Bain SD.
Functional strains and cortical bone adaptation : epigenetic assurance of skeletal intensity. *J Biomech*, **23** : 43, 1990.
- 54 . Saudemont JP.
Les différentes catégories de vétérinaires en endurance et leur rôle. *Pratique Vétérinaire Equine*, **30** : 118, 9-14, 1998.
- 55 . Scholte HE, Verduin MHM, Ross JD, et al.
Equine exertional rhabdomyolysis : activity of the mitochondrial respiratory chain and carnitine system in skeletal muscle. *Equine Vet J*, **23** : 142, 1991.
- 56 . Schott HC, Düsterdieck KF, Eberhart SW, et al.
Effects of electrolyte and glycerol supplementation on recovery from endurance exercise. *Equine Vet J*, **suppl 30**, 384-393, 1999.
- 57 . Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan MM, Wensig TH, Barneveld A.
Heart rate, blood biochemistry and performance of horses competing in a 100 km endurance ride. *Vet Rec*, **128** : 175, 1991.
- 58 . Smith RK, Birch H, et al.
Should equine athletes commence training during skeletal development? : changes in tendon matrix associated with development , ageing, function and exercise. *Equine Vet J*, **suppl 30**, 201-209, 1999.
- 59 . Snow DH.
A review of nutrition aids to energy production for athletic performance. *The Equine Athlete*, **5(5)** : 1, 1992.

- 60 . Snow DH, Baxter P, Rose RJ.
Muscle fibre composition and glycogen depletion in horses competing in an endurance ride. *Vet Rec*, **108** : 374, 1981.
- 61 . Snow DH, Fixter LM, Kerr MG, et al.
In Knuttgen HG, Vogel JA, Poortmans J (eds) : *Biochemistry of exercise*. Champaign, Illinois, Human Kinetics Publishers, p 336, 1983.
- 62 . Snow DH, Vogel JA.
In Equine Fitness : The care and training of the athletic horse. North Pomfret, VT, David and Charles, p 71, 1987.
- 63 . Snow DH, Kerr MG, Nimmo MA, et al.
Alteration in blood, sweat urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse. *Vet Rec*, **110** : 377, 1982.
- 64 . Thomas DP, Fregin GF, Gerber NH, et al.
Effects of training on cardiorespiratory function in the horse. *Am J Physiol*, **245** : R160, 1983.
- 65 . Tomlinson CM.
Exhausted horse syndrome. *67th annual convention of the American association of equine practitioners*. San Francisco, California, 1992. AAEP, Lexington, USA, 835-837, 1992.
- 66 . Turner TA.
Muscular disorders. *In* Robinson (ed) : *Current Therapy in Equine Medicine 3*. Philadelphia, USA. Saunders Publishers, 113-116, 1992.
- 67 . Valberg SJ, Cardinet GH III, Lewis PJ, et al.
Metabolic myopathies in the horse. *J Neurol Sci*, **98** : 347, 1990.
- 68 . Willemen MA, Jacobs MWH, Schamhardt HC.
In vitro transmission and attenuation of impact vibrations in the distal forelimb. *Equine Vet J*, **suppl 30**, 245-248, 1999.
- 69 . Woo S, Gomez M, Young-Kywn W, et al.
Mechanical properties of tendons and ligaments : the relationship of immobilization and exercise on tissue remodelling. *Biorheology*, **19** : 397, 1982.