

(Lu)
CIRAD-EMVT
Campus de Baillarguet
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER Cedex 1

AG 178539
BA TH305
Ecole Nationale Vétérinaire
d'Alfort
7, avenue du Général de Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Institut National Agronomique
Paris-Grignon
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

Muséum National d'Histoire Naturelle
57, rue Cuvier
75005 PARIS

27 MAI 1999

**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

THERMOREGULATION ET ENDURANCE
DU CHEVAL DE SPORT

par

Cécile MATHOREL

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

année universitaire 1997-1998



* TH02861 *

RESUME

Les chevaux présentent la particularité d'être élevés et utilisés sous toutes les latitudes. Dans le cadre des compétitions sportives il leur est demandé d'importants efforts, demande aggravée en milieu chaud et humide. Ainsi, à l'occasion des Jeux Olympiques d'Atlanta, de nombreuses équipes se sont intéressées aux problèmes de thermorégulation chez le cheval de sport.

Les problèmes vétérinaires seront donc abordés, principalement liés à la difficulté à dissiper la chaleur produite lors de l'exercice, avec des conséquences sur le système cardio-respiratoire, sur la chimie sanguine, et donc sur la récupération.

Les résultats ont permis de faire des recommandations pratiques, tant sur le plan de l'alimentation que sur le suivi de l'entraînement ou l'aménagement des conditions de compétition.

Mots clefs : Cheval, Sport, Température, Humidité, Endurance, Métabolisme, Alimentation

Abréviations :

- CCE : Concours Complet d'Equitation
- CMV : Complément Minéral et Vitaminé
- CPJ : Calories par jour
- CRI : Index de récupération Cardiaque
- ED : Energie digestible
- EM : Energie métabolisable
- FEI : Fédération Equestre Internationale
- FFE: Fédération Française d'Equitation
- HR : Humidité relative
- SHN : Société Hippique Nationale

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

SOMMAIRE

RESUME	1
SOMMAIRE	2
REMERCIEMENTS	3
I. INTRODUCTION	4
II. GÉNÉRALITÉS	5
1) <i>Physiologie du cheval de sport à l'effort</i>	5
a) Capacités sportives et seuil anaérobie du cheval athlète.....	5
b) Récupération.....	6
2) <i>Déroulement des épreuves de CCE et d'endurance</i>	6
a) Déroulement d'une épreuve de concours complet international 4 étoiles.....	6
b) Déroulement d'une compétition internationale d'endurance.....	6
III. ASPECTS VÉTÉRINAIRES	7
1) <i>Equilibre hydrominéral et déshydratation</i>	7
2) <i>Stress thermique et capacité de récupération</i>	11
3) <i>Chimie sanguine et production de lactate</i>	13
4) <i>Thermorégulation et nutrition</i>	15
IV. ASPECTS TECHNIQUES	16
1) <i>Alimentation</i>	16
a) Effet de la composition en graisses du régime.....	18
b) Complémentation minérale.....	19
2) <i>Mise en condition physique</i>	20
a) Suivi de l'entraînement.....	20
b) Adaptation à la chaleur.....	21
c) Stratégies de réhydratation.....	22
DISCUSSION ET CONCLUSION	24
BIBLIOGRAPHIE	26

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

REMERCIEMENTS

Je remercie l'adjudant Didier Schauly, instructeur à la SHN du Leclerc Cavalerie, pour l'éclairage qu'il a apporté à mon travail.

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

I. INTRODUCTION

L'élevage équin, plus que tout autre, se caractérise par la primauté donnée à l'individu par rapport à la population, surtout dans une optique sportive.

Même si l'une ou l'autre des races équines présente plus de potentialités pour un type d'activité ou un autre, son emploi ne sera jamais la règle absolue. De plus, les populations de chevaux légers sont très homogènes, du point de vue des capacités pour la course : la masse musculaire est particulièrement riche en fibres rapides (Snow et Guy, 1980), aérobies et anaérobies (Tableau 1).

Tableau 1 : Types de fibres musculaires en fonction de la race, en % du total (d'après Wolter, 1995).

	I	II _A	II _B	II _A +II _B
Pur-sang	10	59	27	86
Pur-sang arabe	14	48	38	86
Trotteur	21	52	31	84

Les différentes races de chevaux utilisées en sport présentent, plus que dans les autres races domestiques, la particularité d'avoir une très vaste répartition géographique, et d'être éventuellement élevées à grands frais.

Ainsi, le cheval Arabe, améliorateur universel des chevaux de selle, est aussi bien élevé en Occident (France, USA, Pologne) que dans la péninsule arabique, ou dans le Maghreb, et jusqu'au Cameroun (Meyer, en préparation). Ce cheval serait originaire d'Asie centrale russe, mais les caractéristiques ont été fixées grâce à Mahomet et l'Islam, à des fins tout autant religieuses que militaires (Ferrando, 1995). « Celui qui nourrit un cheval pour le triomphe de la religion fait un prêt magnifique à Dieu » peut-on ainsi lire dans le Coran.

Lors des épreuves sportives de haut niveau, telles que les courses d'endurance internationales, ou encore les CCI**** (Concours Complet International 4 étoiles), les montures sont soumises à d'importantes contraintes physiologiques.

En travail d'endurance, l'accumulation d'acide lactique est la première cause de fatigue et de myosites aiguës. S'y ajoutent l'épuisement des réserves de glycogène et, de façon spécifique à l'endurance, la déshydratation, les troubles circulatoires et les risques d'hyperthermie (Wolter, 1995).

Ces contraintes, et les problèmes physiologiques qui en découlent (déshydratation, stress thermique, accélération des rythmes cardiaques et respiratoires), sont encore aggravées lorsque les épreuves se déroulent sous un climat chaud, qu'il s'agisse de régions chaudes et sèches (raids organisés dans les Emirats de la péninsule arabe) ou chaudes et humides (comme tout simplement les épreuves organisées lors des Jeux Olympiques à Atlanta).

De nombreuses études vétérinaires ont été menées lors de ces épreuves sportives, afin de mieux cerner les mécanismes de la thermorégulation en période d'effort, et de tenter d'apporter, via l'alimentation et l'entraînement de manière plus générale, des solutions à même de limiter la chute des performances. Et d'éviter les accidents parfois mortels.

II. GENERALITES

1) Physiologie du cheval de sport à l'effort

a) Capacités sportives et seuil anaérobie du cheval athlète

Un cheval de sport de faible capacité est doté d'un taux métabolique maximal 25 à 50 % supérieures à celui d'un athlète humain de haut niveau. Ainsi, les capacités métaboliques des chevaux d'élite seront jusqu'à plusieurs fois supérieures à celles des athlètes humains et 3 à 4 fois supérieures à celles de « joggers » moyens. Or, la production de chaleur est directement fonction du taux métabolique.

De plus, en conditions chaudes et humides, le cheval est considérablement désavantagé par rapport à l'humain, ayant un rapport poids vif/surface 2 à 3 fois supérieur à celui de l'homme, donc des besoins en matière d'évacuation de la chaleur supérieurs, particulièrement lorsque la température ambiante est proche de celle de la peau (34°C).

Mais, ceci est compensé par une capacité à transpirer environ deux fois supérieure à celle de l'homme (soit des pertes totales de fluides pouvant atteindre 10 à 15 litres par heure) (Jeffcott et Hodgson, 1995).

Tableau 2 : Quelques particularités du cheval athlète, par comparaison à l'homme (d'après Wolter, 1995).

	Homme	Cheval
Vitesse maximale (km/h)	36	70
Poids du cœur (% PV)	0,40	0,86
Proportion de muscle (%PV)	40	40
Capacité aérobie	+	++
Capacité anaérobie	+	++
Teneur musculaire en glycogène	++	+++
Production de lactate	+	++
Pouvoir tampon	+	++
Sudation	++	++
Concentration de la sueur	+	++
Fibres musculaires	I	+
	II _A	++
	II _B	+++

Le cheval présente, de plus, des capacités physiques (tableau 2) qui le favorisent nettement comme coureur de fond par rapport à l'homme.

Le seuil anaérobie est fixé à une lactatémie de 4 mmol/l lors d'un test d'effort standardisé de terrain (TEST), ce qui correspond à un niveau de travail à partir duquel l'équilibre entre la

production et la consommation de lactate est rompu. Ce seuil est utilisé dans le suivi de l'entraînement (voir page 20).

b) Récupération

En temps normal, la température se stabilise autour de 38°C, mais lors d'un effort intensif elle peut monter jusqu'à 40°C. Elle doit cependant redescendre en dessous de 38,5°C dans les 20 minutes qui suivent la fin du cross.

Au repos le pouls varie autour de 36 battements par minute, mais avec l'effort il peut monter au-dessus de 100. Il doit redescendre rapidement en dessous de 60 après l'arrivée.

Le rythme respiratoire normal est de 8 à 12 battements par minute. Pour aider le cheval à récupérer son souffle, la méthode la plus simple est de descendre et le faire marcher (FFE, 1993). Il a en outre été observé qu'il puisse monter jusqu'à 200 mouvements respiratoires par minute (Geor *et al.* 1995).

2) Déroulement des épreuves de CCE et d'endurance

a) Déroulement d'une épreuve de concours complet international 4 étoiles

1. Inspection vétérinaire et compétition de **dressage** les deux premiers jours.
2. Le troisième jour a lieu l'épreuve de **fond**, qui se déroule en 4 phases (les distances sont approximatives) :
 - Phase A : Parcours sur routes et sentiers « d'échauffement » de 4 km, parcouru à 220 m/min. (13 km/h)
 - Phase B : Steeplechase de 3 km, parcouru à 690 m/min. (41,4 km/h), 8 obstacles ;
 - Phase C : Parcours sur routes et sentiers «de récupération» de 8 à 10 km, suivi par une halte de 10 minutes comprenant une inspection vétérinaire ;
 - Phase D : Cross-country de 6 km, parcouru à 570 m/min. (34,2 km/h), comprenant 40 obstacles fixes de 1,20 m maximum.
3. Le dernier jour se déroule le test d'**obstacle**, montrant que malgré la fatigue, les chevaux demeurent souples, obéissants et assez énergiques (FEI, 1998, Galloux *et al.* 1992).

b) Déroulement d'une compétition internationale d'endurance

La compétition est divisée en phases de 40 km, à la suite desquelles a lieu une inspection vétérinaire. Le concurrent peut repartir si le pouls du cheval est inférieur ou égal à 64 battements par minute.

Pour les compétitions durant plus d'une journée, la distance minimale à parcourir en concours international est 80 km, et en concours officiel 100 km. Lors d'un championnat se

déroulant sur une journée, la distance habituelle de 160 km est parcourue en une douzaine d'heures par le couple vainqueur (FEI, 1998).

III. ASPECTS VÉTÉRINAIRES

1) Equilibre hydrominéral et déshydratation

Par le phénomène d'évaporation, la transpiration permet de rafraîchir l'organisme en cas d'effort prolongé, et représente un poste important dans le maintien de l'homéostasie.

Sous des climats chauds, son efficacité pour la thermorégulation est réduite car le gradient de température entre la peau et l'environnement est diminué (la corrélation entre le taux de transpiration et la température ambiante a été évaluée à $r = 0,54$ pour des températures moyennes et $r = 0,67$ lorsque les températures sont élevées (Honstein et Monty, 1977)).

Tableau 3 : Variations saisonnières des paramètres sanguins chez 9 chevaux en Arizona (Honstein et Monty, 1997).

Saison	Volume cellulaire (%)	Hémoglobine (g/100 ml)	Na ⁺ (mEq/l)	K ⁺ (mEq/l)	Cl ⁻ (mEq/l)	Protéines totales (g/100 ml)
Hiver	34,2 ± 4,5	16,1 ± 0,87	137,6 ± 4,6	3,9 ± 0,3	105,61 ± 3,6	6,7 ± 0,43
Été	30,1 ± 3,2	13,0 ± 1,20	133,1 ± 4,8	3,9 ± 0,6	104,84 ± 2,4	6,7 ± 0,57

Les observations (tableau 3) montrent, qu'au repos et lorsque le climat est sec, le cheval est capable de maintenir son homéothermie, essentiellement par évaporation cutanée.

De plus, si l'humidité relative est importante, les pertes par évaporation diminuent. Et, en cas d'effort important, le flux sanguin nécessaire pour apporter l'oxygène aux muscles et exporter la chaleur vers la peau sera augmenté, sollicitant d'avantage le muscle cardiaque. Ainsi, les fluides transpirés ont un impact sur la thermorégulation et sur la fonction cardiaque.

McCutcheon *et al.* ont (1995), mené des expériences en conditions tempérées sèches (20 °C, 45–55 % HR), chaudes et sèches (32–34 °C, 45–55 % HR) et chaudes et humides (32–34 °C, 80–85 % HR), afin de déterminer les rapports entre les mécanismes de thermorégulation et les variations de la composition et de la production de sueur lors de l'exercice.

Tableau 4 : Résultats d'un test de fond réalisé dans les conditions suivantes : 20 °C, 45–55 % HR, 32–34 °C, 45–55 % HR et 32–34 °C, 80–85 % HR. La durée du test a été déterminée par le moment à partir duquel la température du sang de l'artère pulmonaire atteint 41,5 °C (d'après McCutcheon *et al.* 1995).

	Tempéré sec	Chaud sec	Chaud humide
Durée de l'exercice (min.)	37 ± 2	28 ± 2	16,5 ± 1
Perte de poids (kg)	8,8 ± 0,8	11 ± 0,8	7,3 ± 1,2
Transpiration (l)	7,9 ± 0,7	9,9 ± 0,5	6,6 ± 1,2
Durée de repos à partir de laquelle la transpiration est indécélable (min.)	30	45	60

Les auteurs ont ainsi pu observer que l'exercice était significativement plus difficile pour les chevaux en conditions chaudes et humides (le test réalisé était plus court, le temps de récupération plus long, tableau 4). Cependant, si la transpiration a augmenté avec la température, elle n'a pas varié avec l'humidité (passage de 0,12 à 0,17 puis 0,16 l/min) : le stimulus serait le gradient de température entre la peau et l'air ambiant.

L'hypothèse concernant la réduction du taux de transpiration serait un phénomène d'hydroméiose (réduction du taux de transpiration lorsque la peau est humide ou saturée), qui permettrait de réduire le risque de déshydratation.

Les animaux ont continué de transpirer durant la phase de repos, selon des durées croissantes, reflétant un besoin accru d'éliminer la chaleur accumulée au cours de l'exercice, dont la durée était pourtant décroissante.

Figure 1 : Evolution de la teneur en protéines totales (g/l) et en calcium $[Ca^{2+}]_{7,4}$ (mM) plasmatique au cours du test d'endurance en conditions tempérées sèches (■ et ▲), chaudes et sèches (◆ et ✕) ou chaudes et humides (● et ✱) E5: mesure effectuée 5 minutes après le début de l'exercice. E15: 15 minutes d'exercice. Fin: fin de l'exercice (30 minutes). P15: 15 minutes de repos. P30: 30 minutes de repos (d'après McCutcheon *et al.* 1995).

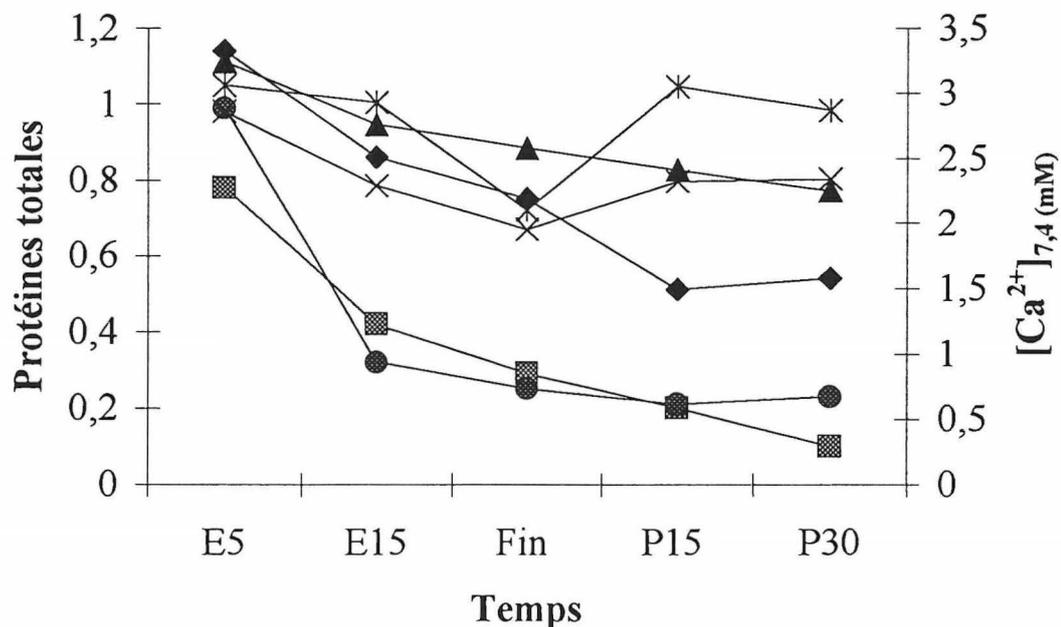


Figure 2 : Evolution des teneurs en sodium (■), potassium (◆), chlore (✱) en g/l, et de l'osmolarité (▲) en mOsm/ml du plasma et du taux de transpiration (✱) en ml/m²/min. au cours du test d'endurance en conditions tempérées et sèches. E5: minutes après le début de l'exercice. E15: 15 minutes d'exercice. Fin: fin de l'exercice (30 minutes). P15: 15 minutes de repos. P30: 30 minutes de repos (d'après McCutcheon *et al.* 1995).

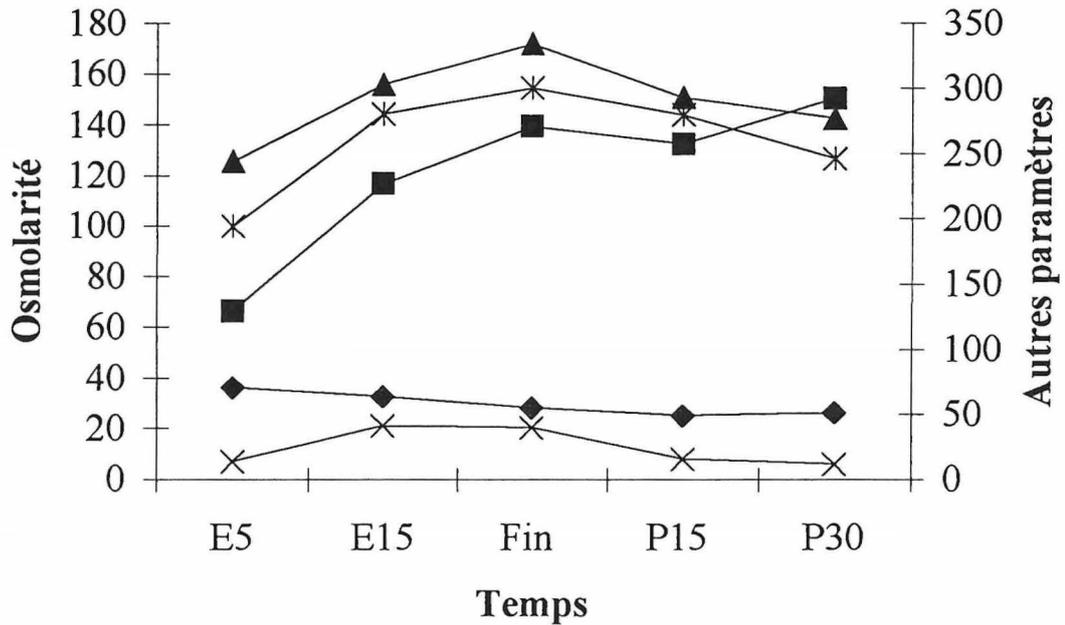
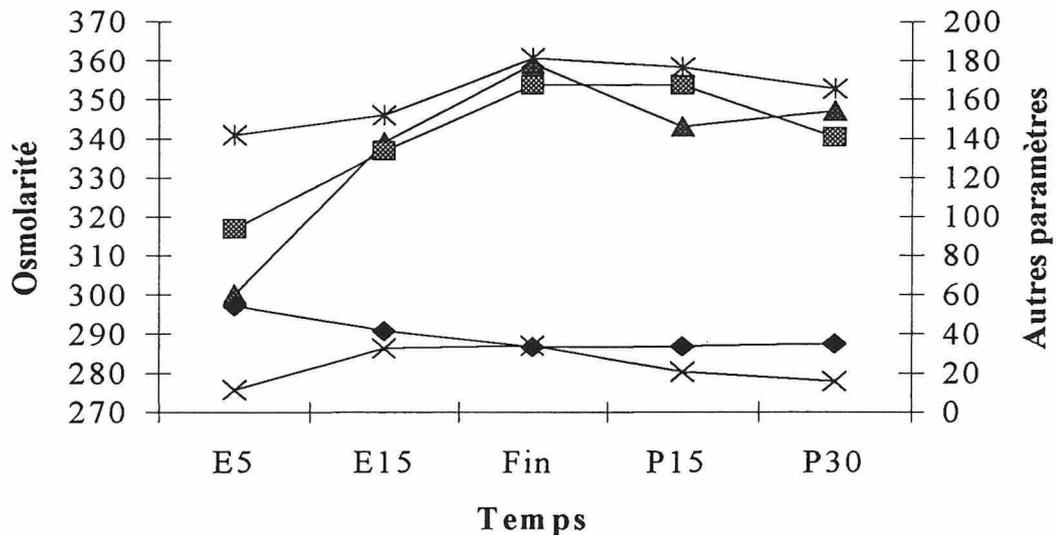
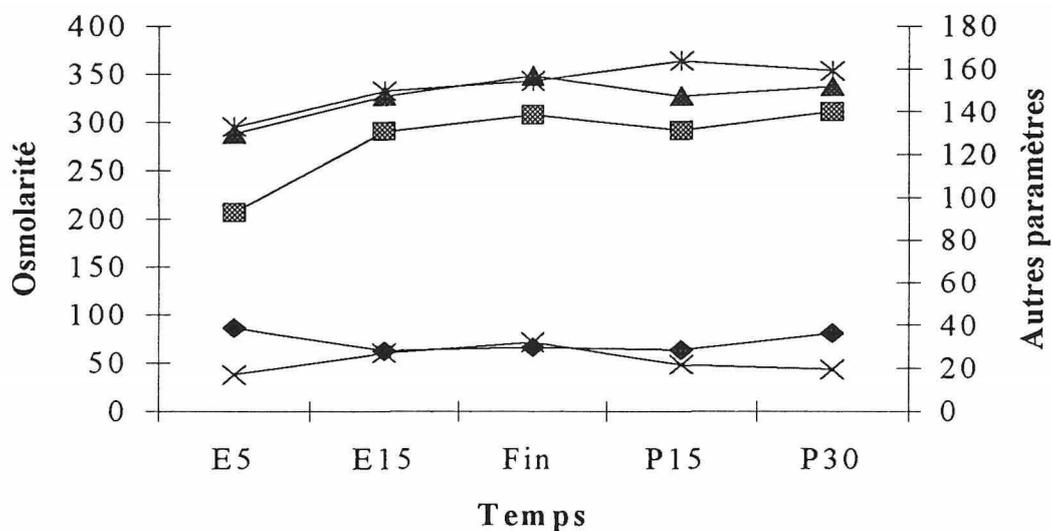


Figure 3 : Evolution des teneurs en sodium (■), potassium (◆), chlore (✱) en g/l, et de l'osmolarité (▲) en mOsm/ml du plasma et du taux de transpiration (✱) en ml/m²/min. au cours du test d'endurance en conditions chaudes et sèches. E5: 5 minutes après le début de l'exercice. E15: 15 minutes d'exercice. Fin: fin de l'exercice (30 minutes). P15: 15 minutes de repos. P30: 30 minutes de repos (d'après McCutcheon *et al.* 1995).



Les auteurs se sont aussi intéressés à la variation de la composition de la sueur (figures 1 à 4). **L'osmolarité a augmenté durant l'exercice**, mais n'a pas été recouverte au bout de 30 minutes de repos, reflétant **l'absence de mécanismes de réabsorption active des ions**. Ainsi, la concentration en ions a augmenté avec le taux de transpiration. Si la transpiration était dans tous les cas initialement hypotonique par rapport au plasma, elle devenait, en conditions chaudes et sèches/humides, hypertonique au bout de 15 minutes et le restait lors de la période de récupération.

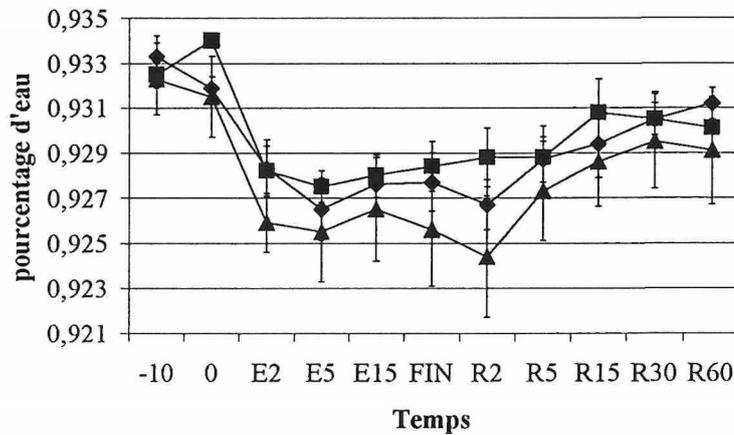
Figure 4 : Evolution des teneurs en sodium (■), potassium (◆), chlore (✱) en g/l, et de l'osmolarité (▲) en mOsm/ml du plasma et du taux de transpiration (✕) en ml/m²/min. au cours du test d'endurance en conditions chaudes et humides Ex 5 min. : minutes après le début de l'exercice. Ex 15 min. : 15 minutes d'exercice. Fin Ex : fin de l'exercice. Post 15 min. : 15 minutes de repos. Post 30 min. : 30 minutes de repos (d'après McCutcheon *et al.* 1995).



Une autre étude a été menée, s'intéressant plus particulièrement aux pertes qui ont lieu durant le cross-country (Ecker et Lindinger, 1995), à différents niveaux de difficulté, mais

toujours dans des conditions de températures moyennes et d'humidité variable (les compétitions s'étant déroulées au Canada). Cette étude a confirmé que le **taux de transpiration, et donc les pertes d'ions, augmentent avec la difficulté de l'exercice** (Ecker et Lindinger, 1995, et figure 5).

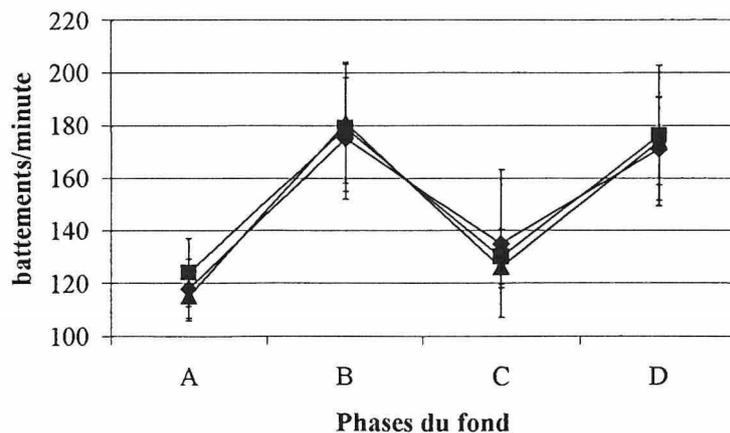
Figure 5 : Evolution du contenu en eau du plasma (g H₂O/g plasma) au cours de l'exercice et des 60 premières minutes de récupération, en conditions tempérées sèches (◆), chaudes sèches (■), et chaudes humides (▲) E signifie que la mesure a été effectuée au cours de l'exercice, R au cours de la récupération. Le chiffre qui suit indique le nombre de minutes depuis le début de la séquence (Lindinger *et al.* 1995)



2) Stress thermique et capacité de récupération

Lors de l'exercice, la chaleur produite par les muscles devrait être en grande partie évacuée par la peau. Cependant, lorsque le gradient de température entre la peau et le milieu diminue, il devient plus difficile de l'évacuer, et elle s'accumule, provoquant une élévation de la température corporelle. Ainsi, la production de chaleur totale d'un cheval de 500 kg au cours du test de fond d'un CCI**** représente 35 664 kJ, soit 80 % des dépenses énergétiques présentées dans le tableau 12 (Jones et Carlson, 1995).

Figure 6 : Rythmes cardiaques moyens mesurés lors du test de fond de CCI* (▲), CCI (■) et CCI*** (◆) (White *et al.* 1995).**



Cependant, il est remarquable (figure 6) que les efforts demandés au cheval soient similaires pour les différents niveaux de compétition étudiés.

L'utilisation corporelle totale de l'oxygène ($\dot{V}O_2$) est un index communément utilisé de pour mesurer l'effort. En effet, l'exercice tend à faire augmenter les besoins métaboliques d'O₂ des tissus qui travaillent (Manohar, 1990).

Ainsi, Geor et al. ont fait travailler des chevaux à 50 % de $\dot{V}O_{2max}$, dans trois conditions de température (voir III. 1), protocole de McCutcheon et al.), jusqu'à ce que la température du sang de l'artère pulmonaire atteigne 41,5°C (avant que les chevaux présentent des signes de fatigue et afin qu'ils puissent récupérer de façon similaire aux chevaux travaillant en conditions tempérées).

L'augmentation de la température du sang de l'artère pulmonaire en conditions chaudes et humides ($0,26 \pm 0,03$ °C/min) a été significativement plus élevée qu'en conditions chaudes et sèches ($0,17 \pm 0,04$ °C/min) ou en conditions tempérées sèches ($0,12 \pm 0,05$ °C/min), et son gradient de température avec la peau a été significativement plus faible en conditions chaudes qu'en conditions tempérées.

De plus, durant l'exercice et la récupération, le rythme cardiaque (atteignant des valeurs de 151 ± 5 à 168 ± 4 battements/min), ainsi que le rythme respiratoire durant la récupération, en conditions chaudes et humides sont restés significativement supérieur à ceux dans les autres cas (Geor et al. 1995).

Tout ceci a permis de mettre en évidence qu'en conditions chaudes et humides la dissipation de la chaleur met à rude épreuve le système cardio-vasculaire suite à une réduction des capacités à transférer la chaleur via la peau.

L'abréviation de CRI désigne l'index de récupération cardiaque, l'un des principaux outils du vétérinaire pour déterminer l'aptitude du cheval à poursuivre la compétition dans des conditions acceptables.

Il s'agit de mesurer le rythme cardiaque (P₁). Ensuite le cheval trotte 80 m (aller-retour), et une seconde mesure est effectuée 60 sec après la première (P₂). Si P₂ > P₁ +4, le cheval est déclaré inapte à poursuivre la compétition. Le vétérinaire a donc peu de critères pour l'aider dans sa décision.

Le but de l'étude de Harris et al. en 1995a, était d'en chercher des supplémentaires.

Tableau 5 : mesure de l'index de récupération cardiaque après 7 minutes de repos chez 4 chevaux au cours d'une simulation de compétition dans différentes conditions : 20°C 40 % HR, 30°C 40 % HR, et 30°C 80 % HR (d'après Harris et al. 1995a).

Cheval	20°C 40%			30°C 80%			20°C 40%			30°C 40%		
	P ₁	P ₂	CRI									
H	87	86	-1	87	90	+3	85	85	0	86	78	-8
N	88	86	-2	94	100	+6	82	86	+4	85	88	+3
M	87	86	-1	105	109	+4	91	95	+4	89	92	+3
J	88	88	0	90	99	+9	86	89	+3	-	-	-

Ici (tableau 6), P₁ a été mesuré après 7 minutes de récupération, mais une valeur maximale n'a pas été définie comme point de départ du test. Les auteurs ont plutôt conclu qu'il était

imprudent de laisser un cheval dont le rythme cardiaque demeurait supérieur à 100 battements/min. poursuivre la compétition (ainsi en conditions CH, le cheval M, a été autorisé à poursuivre, mais a dû être arrêté au bout de 5 minutes de la phase D, et seul le cheval H, qui présentait les valeurs les plus faibles, a été à même de finir le test).

Il est donc proposé d'augmenter le temps disponible pour les examens du vétérinaire (soit 2 à 3 minutes) lorsqu'il fait chaud et humide, de faire passer, ainsi que l'autorise le règlement de la FEI, la période de repos entre les phases C et D de 10 à 15 minutes, et de déterminer des valeurs-seuil de CRI adaptées à ces conditions spécifiques.

De plus, il a été observé qu'une diminution du rythme respiratoire entre la fin de la phase C et la huitième minute était associée avec la capacité à terminer l'épreuve (Harris *et al.* 1995a).

3) Chimie sanguine et production de lactate

Les variations d'électrolytes et de protéines totaux ont été étudiés chez les chevaux précédemment évoqués (Harris *et al.* 1995b). Les résultats ont été similaires à ceux de McCutcheon *et al.* (1995), mais ils ont été associés à une analyse de variance (tableau 7).

Tableau 6 : Analyse de variance pour chaque variable, où la significativité reflète $P < 0,05$ et Ca = Calcium, Cl = chlore, K = potassium, Mg = magnésium, Na = sodium, PO_4 = Phosphate et PT = protéines totales (Harris *et al.*, 1995b).

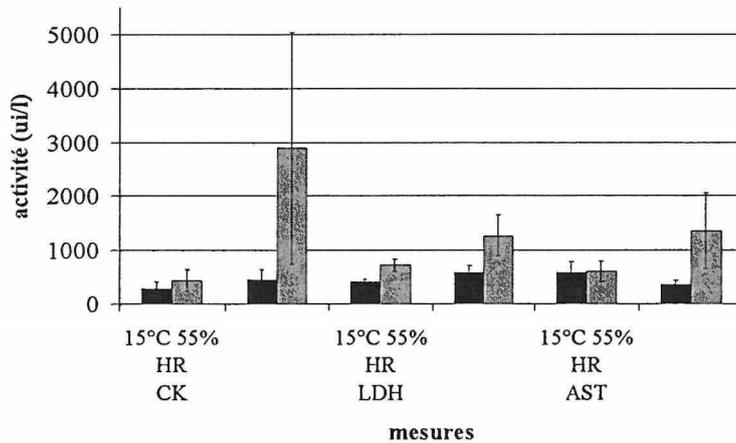
	Ca	Cl	K	Mg	Na	PO_4	PT
Durée	S	S	S	S	S	S	S
Chevaux	S	S	S	S	S	-	S
conditions	S	S	S	S	S	S	S
Temps x cheval	-	S	-	-	S	-	S
Temps x conditions	-	S	-	-	-	-	S
Cheval x conditions	S	S	S	S	S	S	S
Ecart type	0,0143	1,65	0,063	0,00129	1,05	0,0322	1,86
Bon ferrone calculé ^a	0,248	2,66	0,52	0,074	2,12	0,371	2,82

^a : sert à comparer deux conditions ou deux chevaux au même moment lorsque les interactions temps x condition ou temps x cheval sont significatives.

Ainsi, la durée, les conditions atmosphériques et le cheval ont un effet significatif sur les différents paramètres. Il y a eu une interaction significative entre la durée et les conditions pour Cl⁻ et les protéines totales, ainsi qu'entre la durée et le cheval pour Cl⁻, Na⁺ et les protéines totales.

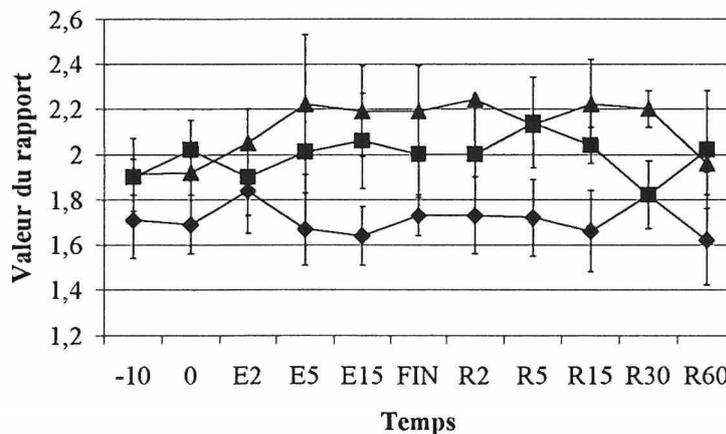
De plus, il a été estimé que, chez des individus non acclimatés à la chaleur, les pertes de fluides étaient similaires que les conditions environnementales soient chaudes et sèches ou chaudes et humides (Harris *et al.*, 1995b).

Figure 7 : Activités de la phosphocréatine kinase (CK), la lactate déshydrogénase (LDH) et l'aspartate aminotransférase (AST) enregistrées avant (■) et 48 heures après (▣) le test standardisé en conditions tempérées (15°C, 55 % HR) et chaudes et humides (30°C, 75 % HR) (Art *et al.* 1995).



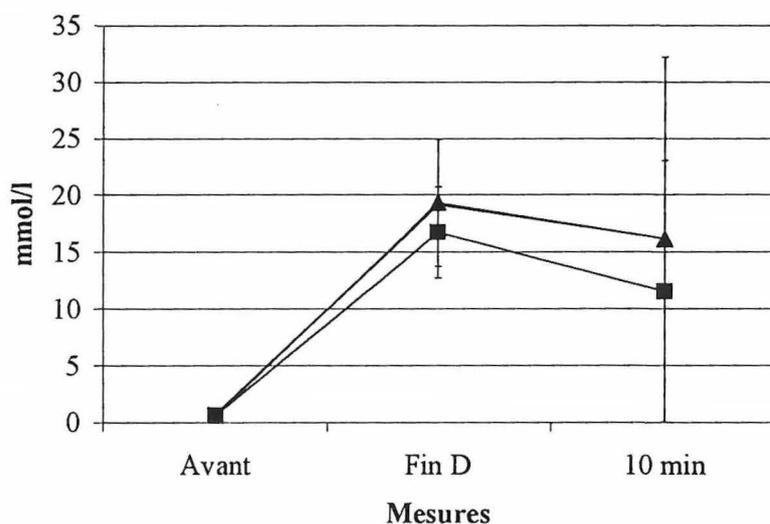
Différents paramètres biochimiques ont aussi été étudiés (figure 7), traduisant l'activité musculaire enzymatique. L'élévation marquée de tous les niveaux observée en conditions chaudes et humides sans que les chevaux présentent des signes de fatigue musculaire ou de raideur, suggère que les chevaux ont développé à l'exercice une rhabdomyolyse subclinique après avoir travaillé en conditions chaudes et humides (Art *et al.*, 1995).

Figure 8 : Evolution du rapport [protéines plasmatiques]/[albumine] au cours de l'exercice et des 60 premières minutes de récupération, en conditions tempérées sèches (◆), chaudes sèches (■), et chaudes humides (▲). E signifie mesure au cours de l'exercice, R au cours de la récupération, et le chiffre correspond au nombre de minutes depuis le début de la séquence (Lindinger *et al.*, 1995)



Il n'y a pas eu de changements notables, au cours de l'exercice et de la récupération (figure 8), dans le rapport entre les protéines plasmatiques et la concentration en albumine, reflétant ainsi le fait qu'il n'y aurait pas eu de mouvements de protéines durant l'exercice des compartiments interstitiel et lymphatique vers le compartiment sanguin (Lindinger *et al.*, 1995).

Figure 9 : Evolution de la concentration plasmatique de lactate mesurée avant l'épreuve de fond, en fin de phase D et 10 minutes après la phase D, au cours de CCI* (▲), CCI (■) et CCI*** (◆). Les courbes obtenues pour le CCI* et pour le CCI*** se chevauchent (White *et al.* 1995).**



Pour des chevaux participant à différents niveaux de CCI, la concentration finale de lactate est restée supérieure à celle observée au repos (figure 9). Ceci est à mettre en lien avec le fait que le saut à une vitesse supérieure à 600 m/min soit un exercice anaérobie et que les cavaliers poussent leur monture pour tenter d'obtenir un temps optimal au cross-country. Ces résultats ont été confirmés par Andrews *et al.*, 1995.

4) Thermorégulation et nutrition

L'énergie est l'une des principales composantes de l'alimentation affectées par le stress thermique (Cymbaluk et Christison, 1990). Même si on peut trouver dans la littérature des valeurs définissant la zone de thermoneutralité pour différentes races de chevaux, en réalité celle-ci sera fortement influencée par l'âge, la saison, l'élevage... et surtout l'acclimatation.

Ainsi, dans la littérature on peut lire que la zone de thermoneutralité est située entre 10 et 30°C, mais elle a été estimée chez des chevaux canadiens acclimatés entre - 15°C et 10 °C, et chez des ânes acclimatés au désert du Nevada à 26 - 36°C .

Les limites supérieures ont de même été peu déterminées, mais en Australie de l'Ouest et au Queensland, des chevaux résistent à des températures de 52 à 58°C, tout en maintenant une température interne de 38°C (tableau 10). La limite supérieure de la zone de thermoneutralité est définie comme la température à partir de laquelle le cheval transpire, c'est à dire 25 à 30 °C.

Tableau 7 : Mécanismes de la thermorégulation par temps chaud (Cymbaluk et Christison, 1990).

Contrôle	Climat chaud
Physiologique et métabolique	Vasodilatation Transpiration + respiration ? + taux métabolique (temporaire)
Isolation	- densité des poils Couverture pileuse fine
Digestion	- digestion des fibres temps de transit normal ? - ingestion + ingestion d'eau
Comportement	Recherche de l'ombre - activité alimentation nocturne
Morphométrie	- gain de poids

Les chevaux chercheront à avoir une alimentation produisant le moins d'extrachaleur possible, au risque de devoir diminuer l'ingestion. Ainsi, des recommandations ont été faites pour répondre à ces contraintes (IV. 1).

IV. ASPECTS TECHNIQUES

1) Alimentation

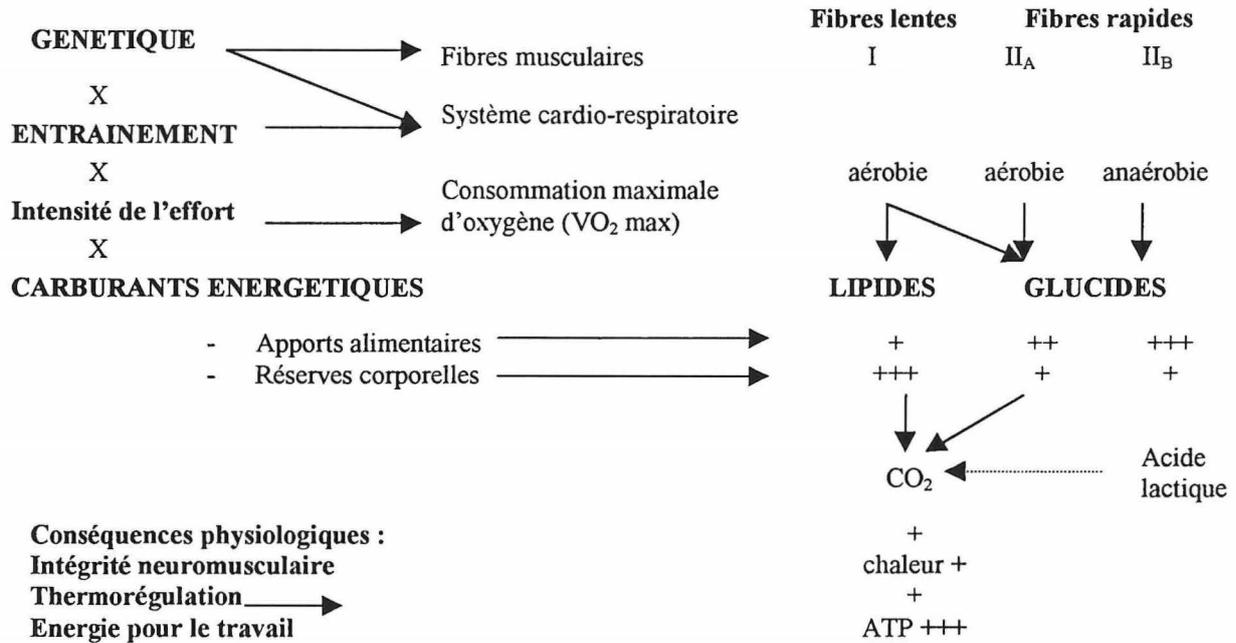
L'alimentation, qui demeure souvent très traditionaliste, est dans de nombreux cas un facteur limitant de la performance sportive. Or, les besoins particuliers du cheval athlète sont, ainsi que nous l'avons vu dans les généralités, directement dépendants de sa composition en fibres musculaires (figure 1).

Les glucides représentent le carburant énergétique le mieux adapté. Cependant l'excès de céréales favorise les libérations massives et brutales d'acide lactique, surtout après une période de repos.

Les lipides jouent un rôle modeste sur le plan énergétique. La ration habituelle dose environ 3 % d'acides gras essentiels, mais, pour l'effort d'endurance ils sont utilisés jusqu'à 8-10 %, à condition de supplémenter en calcium, magnésium et facteurs anti-oxydants.

L'augmentation des protéines, en valeur absolue, favorise le développement musculaire, le maintient de l'immunité, et prévient de l'anémie du sportif.

Figure 10 : Interactions génétique-entraînement-type d'effort et alimentation (Wolter, 1995).



Des recommandations ont été produites par Cymbaluk et Christison, concernant l'alimentation des chevaux placés en climat chaud (tableau 8).

Tableau 8 : Recommandations pour l'alimentation des chevaux placés en climat chaud (Cymbaluk et Christison, 1990).

- Nourrir avec un régime modérément élevé en grains, avec un minimum de fibres (environ 1 % du poids de fourrage brut)
- Distribuer les fibres de nuit, de façon à ce que l'extrachaleur produite lors de leur digestion soit dissipée plus facilement, la température ambiante étant plus élevée.
- Nourrir fréquemment pour permettre d'étaler la dissipation de l'extrachaleur tout au long de la journée
- Augmenter la matière grasse (15%) du régime pour tous les chevaux, afin de compenser (au niveau des apports énergétiques) la diminution de l'ingestion
- Ne pas donner trop de protéines, qui produisent plus de chaleur
- Distribuer un CMV en veillant particulièrement aux apports d'iode et de potassium
- Augmenter les concentrations en vitamines A, C et B complexées (et vitamine E < 50 – 100 UI /kg aliment)
- Fournir aux chevaux travaillant ou souffrant de coup de chaleur des solutions d'électrolytes, comme par exemple un mélange 3 : 1 de [KCl et NaCl] et de pierre à chaux
- Mettre de l'eau fraîche et propre en libre disposition
- Maintenir les chevaux en état
- Fournir de l'ombre

Nous avons pu trouver comme recommandations pour un cheval de 550 kg travaillant dur : 8,5 kg MS, 103,7 MJ ED et 940 g de protéines brutes (Hyypä *et al.* 1996). L'énergie dépensée lors d'un CCI **** a donné lieu à des estimations (tableau 11).

Tableau 9 : Dépense énergétique d'un cheval de 500 kg lors du test de fond d'un CCI**. L'énergie dépensée des phases A à D représente 44850 kJ (Jones et Carlson, 1995).**

Phase	Durée (min.)	Puissance métabolique(kW)	Dépense d'énergie		
			Taux (kJ/min.)	Taux + 15% (kJ/min.)	Total (kJ)
A	23	5	300	345	7935
B	4,5	20	1200	1380	6210
C	50	5	300	345	17250
D	13	15	900	1035	134555

a) Effet de la composition en graisses du régime

La première idée serait sans aucun doute d'augmenter la proportion de lipides afin d'augmenter la densité énergétique du régime, diminuer les rejets fécaux, les risques liés à l'utilisation des hydrocarbonates hydrolysables et les coliques.

De plus, cela permettrait de réduire la production d'extrachaleur : l'oxydation d'acides gras à chaînes longue produit 3 % d'extrachaleur de moins que celle du glucose et 20 % de moins que celle des acides gras à chaîne courte ou des aminoacides. Ainsi, la supplémentation en graisses du régime permet de diminuer la production de chaleur de 9,4 MJ par jour chez des Pur-Sangs (Scott *et al.*, 1993, cité par Kronfeld, 1996).

L'énergie nette nécessaire pour le test de fond a été évaluée à 10,76 MJ/jour, pour d'autres exercices à 14, 4 MJ/jour, et en entretien à 36 MJ/jour.

Tableau 10 : Production de chaleur chez des Pur-Sang soumis à différents régimes et effectuant un test de 90,5 minutes de vitesse et de résistance (d'après Kronfeld, 1996).

	Régime A	Régime B	Régime C
Composition (%)	Foin 100	Foin 50 Avoine 50	Foin 45 Avoine 45 Huile végétale 10
Energie brute (MJ/kg)	15,64	16,18	18,46
Energie nette pour l'entretien (MJ/kg)	5,43	7,12	9,30
CPJ (kg)	22,2	16,6	12,9
Production de chaleur durant le test (MJ)	37	35,4	34,6
Production de chaleur journalière (MJ)	105	93	88

La différence entre les résultats des deux derniers régimes (tableau 10) représente l'adaptation grâce aux graisses. Ainsi, les avantages du régime C par rapport au régime B représentent : 0,8 MJ au niveau de la charge thermique, 3,7 kg au niveau de l'ingéré, 6 kg pour l'eau (Kronfeld, 1996)

Ainsi, la supplémentation en graisses a permis de la diminution des différents paramètres envisagés :

Tableau 11 : Amélioration des performances alimentaires et sportives lors de la supplémentation du régime en huiles végétales (d'après Kronfeld, 1995).

Critère	Réduction
Charge thermique journalière	5 %
Ingestion	22 %
Fèces	31 %
Besoins en eau	12 %

Ce qui permet de conclure quant à l'intérêt de la supplémentation en graisse lorsque les conditions de température sont élevées.

b) Complémentation minérale

Il est recommandé, pour le CMV, de particulièrement veiller à la vitamine E, en association avec du sélénium (pour la préservation des membranes biologiques, qui peuvent être mises à rude épreuve lors d'efforts importants), ainsi qu'à la teneur en cuivre et en zinc (Wolter, 1995).

Les recommandations pour un cheval de 550 kg travaillant dur sont : 16,1 g de sodium, 170,2 g de potassium, 47,7 g de chlore et 16,4 g de soufre par jour (Hyypä *et al.* 1996).

McCutcheon et Geor (1996) se sont intéressés, aux pertes en ions lors de l'entraînement et de la compétition.

Tableau 12 : Apports journaliers de nutriments et supplémentation en sel (150 g/j) pour des chevaux soumis à deux semaines d'entraînement en conditions modérées sèches (20–22°C, 45–55 % HR), et chaudes humides (33–35°C, 80–85 % HR), puis à une simulation de test de fond de niveau CCI**, en conditions similaires (McCutcheon et Geor, 1996).**

Nutriment	Quantité (g)	Quantité (mmol)
Protéines brutes	1 273 ± 134	-
Fibres brutes	985 ± 77	-
Graisses brutes	45 ± 13	-
ED (MJ)	185 ± 27	-
Calcium	135 ± 24	3 368
Phosphore	79 ± 15	2 550
Potassium	65 ± 11	1 833
Chlore	85 ± 16	2 397
Sodium	14,4 ± 2	626
<i>Complémentation</i>		
Sodium	39,7	1 727
Potassium	26,2	670
Chlore	84,1	2371

Ils ont eux aussi montré que les pertes augmentaient avec la difficulté de l'exercice, en particulier qu'en conditions chaudes et humides elles étaient trois fois supérieures à celles en conditions modérées. Ils ont mis en parallèle les apports (tableau 12) et les pertes calculées d'ions (tableau 13), afin de préciser les besoins en matière de supplémentation, sans prendre en compte les pertes fécales et urinaires, ainsi que les mécanismes physiologiques permettant de diminuer ces pertes.

Tableau 13 : Pertes d'ions via la sueur calculées au cours des deux semaines d'entraînement (à 6 jours par semaine) et de la simulation du test de fond en conditions modérées (20–22°C et 45–55 % HR) et en conditions chaudes et humides (33–35°C, 80–85 % HR) (d'après McCutcheon et Geor, 1996).

Protocole d'exercice	Pertes d'ions	
	mmol	g
<i>Entraînement</i>		
Sodium	1 465,3	33,7
Potassium	356,9	13,9
Chlore	1871,6	66,4
Calcium	30,7	1,23
<i>Simulation du test de fond</i>		
Sodium	2 673,5	61,5
Potassium	689,8	26,9
Chlore	3 110,2	110,4
Calcium	45,7	1,83

Si, durant la période d'entraînement, les apports semblent avoir été suffisants (tableau 13), en revanche, lors de la simulation du test de fond en conditions chaudes et humides les pertes de sodium ont été de 30 % supérieures à l'ingéré estimé.

De façon similaire à Wolter (1995), les auteurs ont donc conclu à la nécessité de supplémenter en ions dans les conditions de l'expérience, en veillant particulièrement aux apports en sodium.

Wolter a en outre proposé de supplémenter en magnésium afin de prévenir les manifestations hypocalcémiques et tétaniques. Ainsi, on utilise lors des efforts d'endurance des solutions réhydratantes principalement anticalcosiques (à cause des pertes de chlore via la sueur) (Wolter, 1995).

2) Mise en condition physique

a) Suivi de l'entraînement

Le suivi de l'entraînement nécessite de prendre en compte l'évolution de l'intensité de la fréquence cardiaque en fonction de l'intensité de l'effort en rapport avec la vitesse, avec un suivi parallèle de la lactatémie.

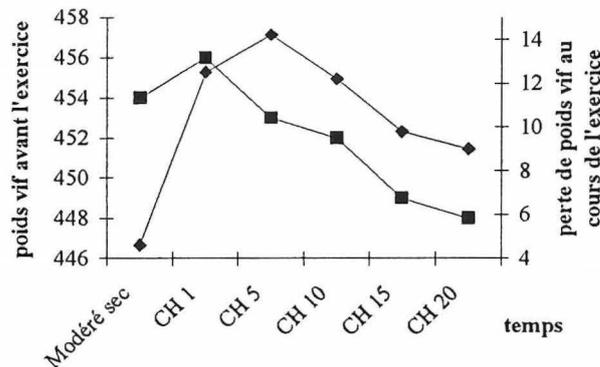
Le rythme cardiaque sera donc enregistré en continu, et le dosage du lactate sera réalisé en fin de séance par un prélèvement au niveau de la veine jugulaire, sur place ou en léger différé.

La durée de la séance sera programmée sur un chronomètre et son intensité sur le cardiofréquencemètre. Le TEST permettra de suivre les progrès en notant le déplacement de la courbe lactatémie-vitesse. Tout dépassement de la vitesse au seuil anaérobie entraîne de fortes lactatémies (> 15 mM) (Galloux *et al.*, 1992).

b) Adaptation à la chaleur

L'adaptation à la chaleur représente un ensemble de mécanismes physiologiques qui influencent les performances durant le déroulement de l'entraînement. Elle a été étudiée par Geor *et al.* (1996) en suivant différents paramètres : variation du poids vif au cours de l'exercice, estimation du stockage de chaleur métabolique, et ingestion d'eau.

Figure 11 : Evolution du poids vif (■) et de la perte de poids (◆) au cours de l'entraînement en conditions modérées sèches (20°C, 45-55 % HR), chaudes et humides (CH, 33-35°C, 80-85 % HR) durant trois semaines (Geor *et al.*, 1996).



On a ainsi pu constater (figures 11 à 13), qu'à partir d'environ deux semaines d'entraînement, les paramètres se stabilisent, tout en restant significativement supérieures aux valeurs mesurées en conditions modérées sèches (mis à part le poids vif, qui est inférieur à celui observé initialement). Ces observations ont été confirmées par le suivi de la température rectale, du rythme cardiaque et du rythme respiratoire au cours des séances d'entraînement.

Figure 12 : Estimations de la chaleur métabolique accumulée (kcal) à la fin de l'exercice (■), après 60 min. de récupération (◆) et après 120 minutes de récupération (▲) au cours de l'entraînement en conditions modérées sèches (20°C, 45-55% HR), chaudes et humides (CH, 33-35°C, 80-85% HR) durant trois semaines (Geor *et al.* 1996).

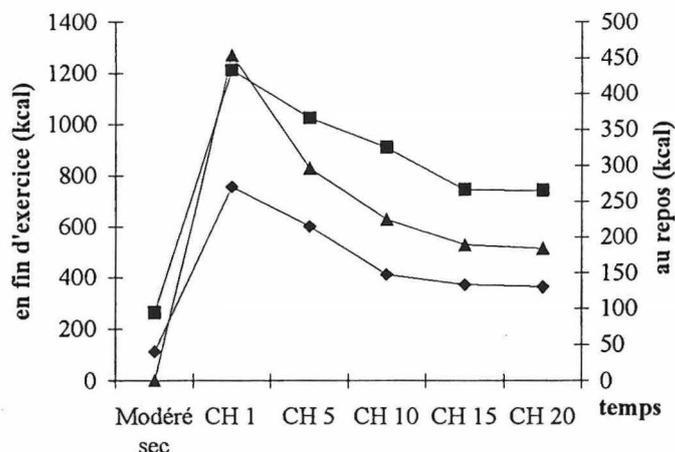


Figure 13 : Consommation d'eau sur 24 heures (■), durant les 4 heures d'exposition (◆) aux conditions modérées sèches (20°C, 45-55 % HR), chaudes et humides (CH, 33-35°C, 80-85 % HR) durant trois semaines (Geor *et al.*, 1996).

Ainsi, il est recommandé de fournir à l'athlète beaucoup d'eau et de moyens de dissiper la chaleur durant le travail et, afin de faciliter son acclimatation à la chaleur, de réduire les efforts, particulièrement au niveau cardiaque (Geor *et al.* 1996).

c) Stratégies de réhydratation

Afin de pouvoir maintenir les efforts sur une longue période il est nécessaire de supplémenter l'athlète tant en eau qu'en ions (voir III. 1), d'autant plus qu'une faible déshydratation (3 % selon Nyman *et al.* 1996, ou 1,2 % selon Hyypä *et al.*, 1996) suffit à réduire les performances du cheval et qu'un cheval qui refuse de boire est un problème courant en endurance.

Hyypä *et al.* ont testé l'effet de l'administration d'une solution isotonique glucose-électrolytes de réhydratation sur la récupération après un exercice simulant le test de fond d'un CCI, à 28°C et 58 % d'humidité relative (tableau 14).

Tableau 14 : Perte de poids durant le test de compétition (PV 1), 22,5 heures après ce test (PV 2), pic de lactate après 8 minutes de canter durant le test, rythme cardiaque (battements par minute) pour un niveau de lactate sanguin de 4 mM calculé à partir des résultats du test et volume de plasma pour les cinq essais réalisés toutes les deux semaines (Hyypä *et al.*, 1996).

Essai	PV 1 (%)	PV 2 (%)	Pic de lactate (mM)	Rythme cardiaque	Volume de plasma (ml/kg)
1	3,2 ± 0,3	1,8 ± 0,5	10,3 ± 1,3	182 ± 4	53 ± 1
2	3,4 ± 0,4	1,5 ± 0,3	8,60 ± 1,1	184 ± 5	54 ± 2
3	3,2 ± 0,3	0,8 ± 0,3	8,00 ± 1,5	187 ± 5	55 ± 1
4	2,8 ± 0,3	0,8 ± 0,3	7,70 ± 1,2	188 ± 4	58 ± 1
5	2,9 ± 0,2	2,5 ± 0,3	6,50 ± 1,0	181 ± 2	61 ± 2

4 mM de lactate correspond au seuil anaérobie (accumulation de lactate sanguin). La perte de poids vif total, bon indicateur des pertes de fluides, est restée constante lors du test, mais la récupération s'est améliorée au cours du temps. Durant les premiers essais les chevaux recevaient après le test une solution isotonique glucose-électrolytes, mais, au cinquième, ils ne recevaient que de l'eau, et récupéraient plus lentement (- 2,5 % au lieu de - 0,8 % aux tests précédents).

On a ainsi pu constater une acclimatation des chevaux aux conditions chaudes et humides, et la supériorité d'une solution isotonique glucose-électrolytes sur l'eau simple pour faciliter la récupération (Hyypä *et al.* 1996).

Trois solutions de réhydratation ont été testées par l'équipe de Nyman (1996) : eau pure, pâte de sel (30 g NaCl et 5 ml d'eau, distribués 3 fois), solution saline (0,9 % NaCl), lors d'un parcours de 62 km comprenant trois contrôles vétérinaires.

L'ingestion de liquides a été significativement plus élevée dans le groupe qui a absorbé la solution saline. Les résultats ont montré une diminution des protéines plasmatiques totales dans le groupe de la solution saline uniquement, correspondant à une augmentation du volume plasmatique. La concentration de sodium plasmatique a augmenté dans le groupe ayant reçu de la pâte de sel, mais non dans celui ayant reçu la solution saline, bien que celle-ci corresponde à une ingestion de sodium supérieure. Elle correspond à des perturbations dans la répartition des fluides. La concentration de potassium a décliné au cours de chacun des traitements.

La consommation d'une solution saline à 0,9 g/l au cours de l'épreuve et de la récupération, serait, à condition d'y avoir habitué les chevaux, la meilleure stratégie de réhydratation actuellement envisageable (Nyman *et al.* 1996).

DISCUSSION ET CONCLUSION

Un index a été créé, afin de pouvoir estimer la charge thermique exercée par l'environnement sur des chevaux participant à un CCI standard, où se conjuguent un haut niveau de température, d'humidité ambiantes et de radiations solaires. Actuellement, l'index employé par la FEI est difficile à appliquer, aussi il en a été proposé un nouveau :

$$WBGT = 0,7 T_{WB} + 0,3 T_G$$

où WBGT = wet bulb globe temperature

T_{WB} = wet bulb temperature (température du bulbe humide mesurée à l'ombre)

T_G = black globe temperature (température du globe noir).

La limite supérieure, proposée pour des chevaux bien entraînés et acclimatés est de 32,5°C, et doit être réduite pour des chevaux ne répondant pas à ces critères (Schroter et Marlin, 1995).

Afin de pouvoir faire des propositions aussi adéquates que possibles et compte tenu des résultats précédemment observés, les réponses physiologiques à une simulation de CCI* modifié pour tenir compte de la chaleur et de l'humidité ont été observées en 1994 en Géorgie (Etats-Unis).

Un groupe de chevaux américains a effectué l'épreuve modifiée (groupe 1), un groupe témoin (groupe 2) a effectué une épreuve normale exceptée l'omission des phases B et C, un groupe de chevaux européens (groupe 3) a subi l'épreuve modifiée, avec une phase C plus longue que celle du premier groupe (tableau 15).

Tableau 15 : Distances et vitesses durant le test de fond d'un CCI ou d'un essai pour trois groupes de chevaux effectuant les trois jours d'épreuve (d'après Kohn *et al.*, 1995). C_T : vitesses calculées en incluant le temps passé au refroidissement, C_{EX} : vitesses calculées en excluant ce temps.

Phase	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3	
	Distance (m)	Vitesse (m/min)	Distance (m)	Vitesse (m/min)	Distance (m)	Vitesse (m/min)
A	2 750	272 ± 27	2750	243 ± 26	2 750	269 ± 19
B	2 240	675 ± 46	-	-	2 240	645 ± 39
C	200	-	-	-	1 100	220
	375	Pas			refroidissement	
	refroidissement	En main			4 400	220
	450	Pas				
	1 320	220				
	refroidissement	En main				
	450	Pas				
C_T		90 ± 1				163 ± 4
C_{EX}	2 795	159 ± 4			5 500	238 ± 11
D	4 199	497 ± 22	4199	484 ± 45	4 199	514 ± 36

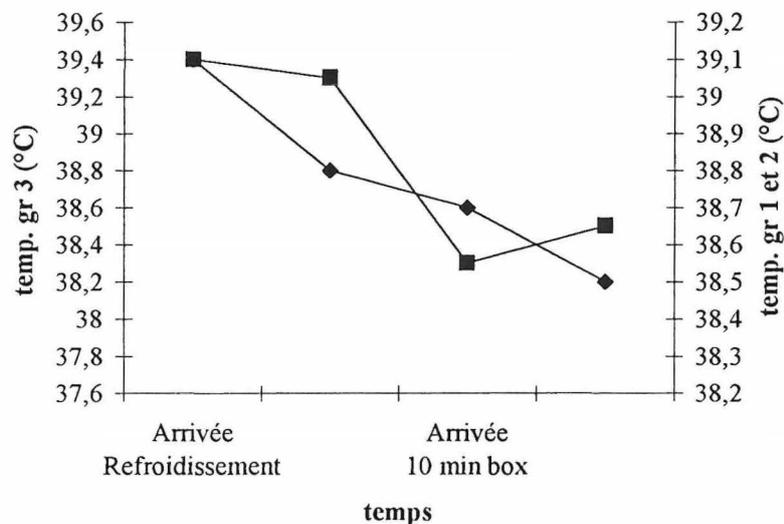
Les huit chevaux européens ont été entraînés en Géorgie durant les trois semaines précédant l'essai. Durant le test, la température a varié de 24,3°C le matin à 30,2°C l'après-midi, et l'humidité relative de 98,9 % à 51,6 %.

Les chevaux européens ont présenté des températures rectales (figure 9) et des pertes de poids vif en fin d'épreuve plus élevées que les autres groupes, à mettre sans doute en rapport avec la plus grande difficulté de la phase C.

Cependant, aucun des chevaux du groupe 2 n'a montré de signes de stress thermique ou d'épuisement : les réductions opérées sur la phase C ont probablement permis de diminuer le gain de chaleur.

Les recommandations sont donc, lorsque le climat est chaud et humide, de réduire les efforts demandés en phase C (vitesse et durée au cours d'un parcours de routes et sentiers de 8 à 10 km), d'y ajouter des pauses, et de commencer les épreuves le plus tôt possible le matin. En outre, il serait positif d'essayer d'avoir un parcours routier comportant de l'ombre (Kohn *et al.*, 1995).

Figure 14 : Evolution des températures rectales (en °C) des trois groupes de chevaux (groupes 1 et 2 ◆, groupe 3 ■) au cours de la pause de rafraîchissement et des 10 minutes de box (d'après Kohn *et al.* 1995).



Ainsi, les différentes recommandations, outre au niveau individuel de l'entraînement et de l'alimentation, ont amené à réduire les distances et les efforts imposés lors d'épreuves en climat chaud et humide, comme à Atlanta en 1996 (Tableau 16).

Tableau 16 : Réduction des distances imposées en CCI** appliquée pour les Jeux Olympiques d'Atlanta (d'après Jeffcott et Hodgson, 1995)**

	CCI **** (m)	J. O. 1996 (m)	Réduction (%)
Phase A (Routier)	7480	5000	33,2
Phase B (Steeplechase)	3450	2760	20,2
Phase C (Routier)	11220	7700	31,7
Phase D (Cross)	7980	6270	21,6
Total	30130	21730	28,2

BIBLIOGRAPHIE

Andrews F. M., Geiser D. R., White S. L., Williamson L. H., Maykuth P. L., Green E. M. Haematological and biochemical changes in horses competing in a 3 star horse trial and 3-day event. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 57-63.

Art T., Votion D., Lekeux P. Physiological measurements in horses after strenuous exercise in hot, humid conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 120-124.

Cymbaluk N. F., Christison G. I. Environmental effects on thermoregulation and nutrition of horses. *Vet. Clin. North Am.* 1990 ; 6 (2) : 355-372.

Ecker G.L., Lindinger M. I. Water and ion losses during the cross-country phase of eventing. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 111-119.

Fédération Equestre Internationale. The technical aspects of equestrian sport. 26/04/1998.
<http://www.worldsport.com/sports/equestrian/rules/rules1.html>

Fédération Equestre Internationale. The technical aspects of equestrian sport. 26/04/1998.
<http://www.worldsport.com/sports/equestrian/rules/rules2.html>

Fédération Française d'Equitation. Préparer ses examens - Galop 7, programme officiel. Maloine Ed., Paris, 1993 : p. 42.

Ferrando R. Histoire du cheval arabe. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 1995 ; 81(8) : 3-8.

Foreman J. H., Grubb T. L., Benson G. J., Frey L. P., Foglia R. A., Griffin R. L. Physiological effects of shortening steeplechase in a 3-day-event. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 73-77.

Galloux P., Auvinet B., Goupil X. Suivi de l'entraînement du cheval de concours complet. *L'Equitation* 1992 ; 2 : 75-79.

Geor R. J., McCutcheon L. J., Ecker G.L., Lindinger M. I. Thermal and cardiorespiratory responses of horses to submaximal exercise under hot and humid conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 125-132.

Geor R. J., McCutcheon L. J., Lindinger M. I. Adaptations to daily exercise in hot and humid ambient conditions in trained Thoroughbred horses. *Equine vet. J. Suppl.* 1996 ; 22 : 63-68.

Gottlieb-Vedi M., Dahlborn K., Jansson A., Wroblewski R. Elemental composition of muscle at rest and potassium levels in muscle, plasma and sweat of horses exercising at 20°C and 35°C. *Equine vet. J. Suppl.* 1996 ; 22 : 35-41.

Harris P. A., Marlin D. J., Mills P. C., Roberts C. A., Scott C. M., Harris R. C., Orme C. E., Schroter R. C., Marr C. M., Barrelet F. Clinical observations made in nonheat acclimated horses performing treadmill exercise in cool (20°C/40 % RH), hot dry (30°C/40 % RH) and hot humid (30°C/80 % RH) conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1995a ; 20 : 78-84.

Harris P. A., Marlin D. J., Scott C. M., Harris R. C., Mills P. C., Michell A. R., Orme C. E., Roberts C. A., Schroter R. C., Marr C. M., Barrelet F. Electrolyte and total protein changes in nonheat acclimated horses performing treadmill exercise in cool (20°C/40 % RH), hot dry (30°C/40 % RH) and hot humid (30°C/80 % RH) conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1995b ; 20 : 85-96.

Honstein R. N., Monty Jr. D. E. Physiologic response of the horse to a hot and arid environment. *Am. J. Vet. Res.* 1977 ; 38 (7) : 1041-1043.

Hyypä S., Saastamoinen M., Pösö A. R. Restoration of water and electrolyte balance in horses after repeated exercise in hot and humid conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1996 ; 22 : 108-112.

Jeffcott L. B., Hodgson D. R. Heat, humidity and horse health. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 5-6.

Jones J. H., Carlson G. P. Estimation of metabolic energy cost and heat production during a 3-day-event. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 23-30.

Kohn C. W., Hinchcliff K. W. Physiological responses to the endurance test of a 3-day-event during hot and cool weather. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 31-36.

Kohn C. W., Hinchcliff K. W., McCutcheon L. J., Geor R. J., Foreman J., Allen A. K., White S. L., Maykuth P. L., Williamson L. H. Physiological responses of horses competing at a modified 1 star 3-day-event. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 97-104.

Kronfeld D. S. Dietary fat affects heat production and other variables of equine performance, under hot and humid conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1996 ; 22 : 24-34.

Lindinger M. I., Geor R. J., Ecker G.L., McCutcheon L. J. Plasma volume and ions during exercise in cool, dry ; hot, dry ; and hot, humid conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 133-139.

Manohar M. Exercise and the cardiovascular system. *Equine vet. J. Suppl.* 1990 ; 9 : 5-6.

Marlin D. J., Scott C. M., Schroter R. C., Mills P. C., Harris R. C., Harris P. A., Orme C. E., Roberts C. A., Marr C. M., Dyson S. J., Barrelet F. Physiological responses in nonheat acclimated horses performing treadmill exercise in cool (20°C/40 % RH), hot dry (30°C/40 % RH) and hot humid (30°C/80%RH) conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1996 ; 22 : 70-84.

McCutcheon L. J., Geor R. J. Sweat fluid and ion losses in horse during training and competition in cool vs. Hot ambient conditions : implications for ion supplementation. *Equine vet. J. Suppl.* 1996 ; 22 : 54-62.

McCutcheon L. J., Geor R. J., Hare M.J., Ecker G.L., Lindinger M. I. Sweating rate and sweat composition during exercise and recovery in ambient heat and humidity. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 153-157.

Nyman S., Jansson A., Dahlborn K., Lindholm A. Strategies for voluntary rehydration in horse during endurance exercise. *Equine vet. J. Suppl.* 1996 ; 22 : 99-106.

Schroter R. C., Marlin D. J. An index of the environmental thermal load imposed on exercising horses and riders by hot weather conditions. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 16-22.

Snow D. H., Guy P. S. Muscle fibre composition of a number of limb muscles on different types of horses. *Research in Vet. Sci.* 1980 ; 28 : 137-144.

White S. L., Williamson L. H., Maykuth P. L., Cole S. P., Andrews F. M. Heart rate response and plasma lactate concentrations of horses competing in the speed and endurance phase of 3-day combined training events. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 52-56.

White S. L., Williamson L. H., Maykuth P. L., Cole S. P., Andrews F. M., Geiser D. R. Heart rate response and plasma lactate concentrations of horses competing in the cross-country phase of combined training events. *Equine vet. J. Suppl.* 1995 ; 20 : 47-51.

Wolter R. Alimentation du cheval et performances sportives. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 1995 ; 81(8) : 9-25.