

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2010 - Thèse n°87



PROFIL SANGUIN DE CHEVAUX DE CONCOURS COMPLET : ETUDE DE TERRAIN SUR L'EFFET DE L'ALIMENTATION

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 3 décembre 2010
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

CHABIDON Claire
Née le 22 avril 1984
à Verdun (55)



ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE LYON

Année 2010 - Thèse n°87



PROFIL SANGUIN DE CHEVAUX DE CONCOURS COMPLET : ETUDE DE TERRAIN SUR L'EFFET DE L'ALIMENTATION

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 3 décembre 2010
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

CHABIDON Claire
Née le 22 avril 1984
à Verdun (55)



DEPARTEMENT ET CORPS ENSEIGNANT DE VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON
DIRECTEUR : STEPHANE MARTINOT

Mis à jour le 24/11/2009

Nom	Prénom	Grade	
ALOGNINOUIWA	Théodore	PR1	UP Pathologie du bétail - Dpt Production animale
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	MC Classe Normale	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) - Dpt Production animale
ARCANGIOLI	Marie-Anne	MC Classe Normale	UP Pathologie du bétail - Dpt Production animale UR UMR ENVL AFSSA Mycoplasmoses des Ruminants
ARTOIS	Marc	PR1	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Production animale UR UMR 5525 CNRS EJV EPHE INP ENVL TIMC-IMAG
AVISON	Timothy	PCEA	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé)
BECKER	Claire	MC Classe Normale Stagiaire	UP Pathologie du bétail UR UMR ENVL AFSSA Mycoplasmoses des Ruminants
BELLI	Patrick	MC Contractuel	UP Pathologie Morphologique et Clinique - Dpt Analyses de Laboratoire
BELLUCO	Sara	MC Classe Normale Stagiaire	UP Pathologie Morphologique et Clinique
BENAMOU-SMITH	Agnès	MC Classe Normale	UP Equine - Dpt Equine UR UMR 1233 INRA/ENVL/ISARA Mycotoxines et toxicologie comparée des xénobiotiques
BENOIT	Etienne	PR1	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Industrie UR UMR 1233 INRA/ENVL/ISARA Mycotoxines et toxicologie comparée des xénobiotiques
BERNY	Philippe	PR2	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Industrie UR UMR 1233 INRA/ENVL/ISARA Mycotoxines et toxicologie comparée des xénobiotiques
BERTHELET	Marie-Anne	MC Classe Normale	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs)
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	PR2	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Carnivores UR UMR UCBL ENVL ERI 22 (INSERM) Agression Vasculaire Réponse tissulaire PT Logistique Bureau de la Pédagogie et de la Vie Etudiante Direction Adjoint au directeur - Chargée de la Vie étudiante
BOULOCHER	Caroline	MC Classe Normale Stagiaire	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) Dpt Carnivores - UR UMR UCBL ENVL Réparation tissulaire, interaction biologique et biomatériaux
BOURDOISEAU	Gilles	PR1	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Carnivores UR Thématique Leishmaniose Direction Adjoint au Directeur
BOURGOIN	Gilles	MC Classe Normale	PT Laboratoires d'analyses Parasitologie
BRUYERE	Pierre	MC Contractuel	UP Reproduction
BUBLOT	Isabelle	MC Contractuel	UP Médecine des Carnivores - Dpt Carnivores UP Reproduction - Dpt Carnivores
BUFF	Samuel	MC Classe Normale	UR UPSP ENVL ISARA Cryoconservation des ressources génétiques par la voie femelle PT CERREC PT Formation continue
BURONFOSSE	Thierry	MC Hors Classe	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Analyses de Laboratoire UR UMR 271 INSERM Hépatites virales
CADORE	Jean-Luc	PR1	UP Médecine des Carnivores - Dpt Equine UR UMR 754 INRA - UCBL - ENVL - EPHE Rétrovirus Pathologie comparée Direction Adjoint au directeur - Chargé de missions
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	MC Classe Normale	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Industrie UR UMR 958 Protozoaires entériques des volailles
CAROZZO	Claude	MC Classe Normale	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) - Dpt Carnivores UR UMR UCBL ENVL Réparation tissulaire, interaction biologique et biomatériaux
CHABANNE	Luc	PR2	UP Médecine des Carnivores Dpt Carnivores UR UPSP 5203 Pathologie Comparée des cellules dendritiques et présentatrices d'antigènes
CHALVET-MONFRAY	Karine	MC Classe Normale	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) Dpt Industrie UR UMR 5525 CNRS EJV EPHE INP ENVL TIMC-IMAG
COMMUN	Loïc	MC Contractuel	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) Dpt Analyses de Laboratoire
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	PR2	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Industrie UR UMR CNRS 5558
DEMONT	Pierre	PR2	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Industrie
DESJARDINS PESSON	Isabelle	MC Contractuel	UP Equine
EGRON-MORAND	Germaine	MC Classe Normale	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) Dpt Production animale
ESCRIOU	Catherine	MC Classe Normale	UP Médecine des Carnivores Dpt Carnivores UR UMR UCBL ENVL Réparation tissulaire, interaction biologique et biomatériaux
FAU	Didier	PR2	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) Dpt Carnivores - UR UMR UCBL ENVL Réparation tissulaire, interaction biologique et biomatériaux
FLEURY	Catherine	PR2	UP Equine - Dpt Equine
FOURNEL	Corinne	PR1	UP Pathologie Morphologique et Clinique - Dpt Carnivores UR UPSP 5203 Pathologie Comparée des cellules dendritiques et présentatrices d'antigènes
FRANCK	Michel	PR1	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) - Dpt Production animale -
FRIKHA	Mohamed-Ridha	MC Classe Normale	UP Pathologie du bétail - Dpt Production animale
GANGL	Monika	MC Contractuel	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) - Dpt Equine
GARNIER	François	PR1	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Carnivores
GENEVOIS	Jean-Pierre	PRX	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) - Dpt Carnivores
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	PR2	UP Biologie Fonctionnelle

DEPARTEMENT ET CORPS ENSEIGNANT DE VETAGRO SUP CAMPUS VETERINAIRE DE LYON
DIRECTEUR : STEPHANE MARTINOT

Nom	Prénom	Grade	
GONTHIER	Alain	MC Classe Normale	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Industrie UR UMR 958 Protozoaires entériques des volailles
GRAIN	Françoise	PR2	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) Dpt Analyses de Laboratoire PT Logistique Bureau de la Pédagogie et de la Vie Etudiante Direction Adjoint au directeur - Chargée de la Pédagogie
GRANCHER	Denis	MC Hors Classe	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) - Dpt Production animale UR UMR 1233 INRA/ENVL/ISARA Mycotoxines et toxicologie comparée des xénobiotiques Direction Adjoint au directeur - Chargé des relations intérieures
GREZEL	Delphine	MC Classe Normale	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Industrie
GUERIN	Pierre	PR2	UP Reproduction - Dpt Production animale UR UPSP ENVL ISARA Cryoconservation des ressources génétiques par la voie femelle
GUERIN-FAUBLEE	Véronique	MC Classe Normale	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Analyses de Laboratoire UR UMR CNRS 5558
HUGONNARD	Marine	MC Classe Normale	UP Médecine des Carnivores - Dpt Carnivores UR UMR 5567 UCBL CNRS ENVL INRA Ecologie Microbienne
JAUSSAUD	Philippe	PR1	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Industrie PT Laboratoires d'analyses Laboratoire LEPS
JUNOT	Stéphane	MC Classe Normale	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) Dpt Carnivores UR UMR UCBL ENVL ERI 22 (INSERM) Agression Vasculaire Réponse tissulaire
KECK	Gérard	PR1	UP Biologie fonctionnelle Dpt Industrie UR UMR 1233 INRA/ENVL/ISARA Mycotoxines et toxicologie comparée des xénobiotiques
KODJO	Angeli	PR2	UP Santé Publique Vétérinaire Dpt Industrie UR UMR 5567 UCBL CNRS ENVL INRA Ecologie Microbienne
LACHERETZ	Antoine	PR1	UP Santé Publique Vétérinaire Dpt Industrie
LAMBERT	Véronique	MC Classe Normale	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) Dpt Analyses de Laboratoire
LE-GRAND	Dominique	MC Hors Classe	UP Pathologie du bétail - Dpt Production animale
LEBLOND	Agnes	PR2	UP Santé Publique Vétérinaire Dpt Equine UMR INRA EPIA - UR 346
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	MC Classe Normale	UP Reproduction - Dpt Equine UR UPSP ENVL ISARA Cryoconservation des ressources génétiques par la voie femelle
LEPAGE	Olivier	PR1	UP Equine - Dpt Equine
LOUKIADIS	Estelle	ISPV	UR UPSP 5201 Microbiologie alimentaire et prévisionnelle
LOUZIER	Vanessa	MC Classe Normale	UP Biologie Fonctionnelle
MARCHAL	Thierry	MC Hors Classe	UP Pathologie Morphologique et Clinique - Dpt Carnivores UR UPSP 5203 Pathologie Comparée des cellules dendritiques et présentatrices d'antigènes
MARTIN	Gillian	PCEA	PT Logistique LANGUES
MIALET	Sylvie	ISPV	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Industrie
MOUNIER	Luc	MC Classe Normale	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) - Dpt Production animale UR UMR INRA URH
PIN	Didier	MC Classe Normale	UP Pathologie Morphologique et Clinique - Dpt Carnivores
PONCE	Frédérique	MC Classe Normale	UP Médecine des Carnivores + Dpt Carnivores UR UPSP 5203 Pathologie Comparée des cellules dendritiques et présentatrices d'antigènes
PORTIER	Karine	MC Classe Normale	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) - Dpt Equine
POUZOT	Céline	MC Contractuel	PT CHEV CHEVAC - SIAMU
PROUILLAC	Caroline	MC Classe Normale	PT CHEV UMR 1233 Mycotoxines et toxicologie comparée des xénobiotiques
REMY	Denise	PR2	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) - Dpt Carnivores
RICHARD	Yves	PRX	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Industrie UR UMR 5567 UCBL CNRS ENVL INRA Ecologie Microbienne PT Logistique Bureau de la Recherche Direction Directeur scientifique
ROGER	Thierry	PR1	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) - Dpt Industrie UR UMR UCBL ENVL Réparation tissulaire, interaction biologique et biomatériaux PT ICLB PT Formation continue
SABATIER	Philippe	PR2	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Production animale UR UMR 5525 CNRS EJV EPHE INP ENVL TIMC-IMAG
SAWAYA	Serge	MC Classe Normale	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) Dpt Equine UR UMR UCBL ENVL Réparation tissulaire, interaction biologique et biomatériaux
SERGEANT	Delphine	MC Classe Normale	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Industrie UR UPSP 5201 Microbiologie alimentaire et prévisionnelle
THIEBAULT	Jean-Jacques	MC Hors Classe	UP Biologie fonctionnelle - Dpt Carnivores
VIALARD	Jacquemine	MC Hors Classe	UP GEGAZS (Gestion des élevages : génétique, alimentation, zootechnique et santé) - Dpt Analyses de Laboratoire -
VIGUIER	Eric	PR1	UP ACSAI (Anatomie, Chirurgie, Anesthésiologie, Imagerie, Soins intensifs) - Dpt Carnivores UR UMR UCBL ENVL Réparation tissulaire, interaction biologique et biomatériaux
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	MC Contractuel	UP Pathologie Morphologique et Clinique - Dpt Analyses de Laboratoire
ZENNER	Lionel	PR2	UP Santé Publique Vétérinaire - Dpt Production animale

A Monsieur le Professeur Claude Gharib

De l'Université de Médecine Claude Bernard De Lyon,
Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,
Hommages respectueux

A Madame le Docteur Agnès Bénamou-Smith

Pour m'avoir proposée ce travail et m'avoir accompagnée tout au long de sa réalisation,
Pour vos conseils pertinents, votre écoute et votre patience
Sincères remerciements

A Monsieur le Docteur Laurent Alves de Oliveira

Pour avoir accepté de participer à notre jury de thèse,
Pour votre aide précieuse et l'intérêt que vous avez porté à cette étude
Sincères remerciements

A Madame le Docteur Marie-Laure Delignette-Muller

Pour toute l'aide et la disponibilité dont vous avez fait preuve
Sincères remerciements

Au laboratoire Iodolab

Pour votre collaboration indispensable à ce projet
Pour la réalisation de toutes les analyses
Merci à toute l'équipe pour votre aide et votre gentillesse

A la société Lambey S.A.

Pour votre participation dans la réalisation de cette étude
Pour votre investissement et la mise à disposition des aliments indispensables à ce projet
Sincères remerciements

A mes parents,

Pour tout votre amour et votre soutien quoiqu'il arrive. Vous avez toujours été présents dans les bons et les mauvais moments et ces quelques lignes ne peuvent suffire à exprimer toute la gratitude que je ressens.

Je vous aime de tout mon cœur.

A ma sœur,

A toutes nos chamailleries, disputes et réconciliations. Merci de m'avoir supportée pendant ces moments de stress. On ne se voit pas assez souvent mais je pense à toi et je t'aime.

A toute ma famille, oncles et tantes, cousins et cousines...

Merci pour vos encouragements et votre soutien. Même si la distance nous sépare, je pense bien à vous.

A ceux qui sont partis trop vite, mes grands parents et ma tante Monique, vous me manquez chaque jour.

A Michel

Qui tente désespérément de m'apprendre à monter à cheval et qui supporte mes moments de stress, de fatigue, de déprime et de joie aussi... Merci de m'avoir aidée à réaliser cette thèse que ce soit techniquement ou psychologiquement...

A Caro, Mélo (et Romain) et Sandra (et son loulou)

La fine équipe à l'origine des plus grands moments de déconne de mon histoire dans cette école. Sans vous, ces 5 années auraient été bien différentes. Alors, à nos weekend à la mer ou à la montagne passés et à venir j'espère...

A Nico et Flop,

Les deux Auvergnats. Pour nos grands moments de rigolades en prépa qui ont tout simplement détendu l'atmosphère en ces moments de travail fastidieux... Allé Nico, un bonbon à la menthe ?

A Iko,

Pour la coloc par procuration et le squattage de télé pour le foot... A tes grands moments de solitude les matins au siamu avec ces bégaiements incontrôlables, ton téléphone portable toujours aux aguets et ta grande capacité à faire n'importe quoi pour tous nous faire rire « au revoir, directeur... ». Allé, t'es avant tout un pote !

A Caro,

Allo ? Allo... ? Décidément, tu choisis toujours les endroits où le téléphone ne passe pas. Enfin, je ne suis pas inquiète, je sais qu'on se rappellera toujours, quoiqu'il arrive...et y'a que ça qui compte.

A Jérem,

Chez qui j'ai toujours pu boire un p'tit canon et grignoter un p'tit morceau... Ta porte était toujours ouverte et j'apprécie toujours cette grande générosité qui te caractérise.

A ma poulotte Anaïs,

Pour ces bons moments passés à notre accueil puis à l'école. Je ne mettais pas trompée en te choisissant comme poulotte. N'hésite pas si tu as besoin de quoique soit.

A mon ancienne Pauline,
Qui m'a accueillie dans cette école et qui a su répondre présente quand j'en avais besoin.

A Nanou,
Pour ces 3 années de coloc et nos petites confidences du soir autour d'un thé...

A Nelly,
Pour ces grandes ambitions et ces beaux projets que tu portes et qui me font rêver...

A Alexis,
Profite de la vie et n'abuse pas de la chir...

A tous ceux qui ont été présents pendant ces 5 années et que je n'oublie pas : Alex, Kenny, Fanny et Romain, Yac, Marie, Coralie, Isa, Pierre, Rapé, Claire-Elise.

A la clinique Champ du Perier,
Pour cette année de travail intense mais tellement instructif. Je ne pouvais pas mieux tomber, moi qui avais besoin d'une équipe pour progresser. Merci pour tout ce que vous avez pu et su me transmettre. J'essaierai d'en faire bon usage...

A Mumu,
Mon point central pendant mon année d'internat. Parfois ronchon mais toujours à l'écoute. Tu m'as vraiment aidée à tenir lors des moments les plus difficiles. Merci.

A Franck, Elodie et Aurélien (alias Skippy),
Que dire... ! Oh les cochonnes, elles sont où ??? Allô ? Je te réveille ? Je déteste les infiltrations... On a sauvé mini... Et j'en passe. Ce n'était pas rose tous les jours mais votre bonne humeur, votre écoute et votre petit brin de folie (visiblement plus prononcé chez certains...) m'ont permis de traverser cette année d'internat et d'en retenir le meilleur. Alors, tout simplement, merci.

A ma co-interne Cécile,
A nos soirées à comater devant la télé..., ah désolée on m'appelle. Bah non, c'était une blague de Skippy... Bonne chance sous le soleil !

A Bérénice,
Pour s'être bien occupée de mon Lulu pendant un an. J'espère que tu trouveras autant de joie avec ta petite Taline que moi avec mes petiots.

A tous les propriétaires et leurs chevaux qui ont participé à cette thèse,
Sans vous rien n'aurait été possible. Merci à : Floriane avec son Juju et aussi Prémice, Nico et Oros, Ombeline et Jet, Nat et Lampi, Nadège et Nounouche, Laurent et Lochrist (même si je n'ai pas pu me servir des résultats...), mon infâme Lulu, mes deux petiots Quetchuan et Quiet.

A Cinsé (alias Momo),
Que j'ai tellement maudit au début et qui m'apporte (et me supporte) tant maintenant...

Sommaire

Index des figures	11
Index des tableaux	13
Liste des abréviations	15
INTRODUCTION	17
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	19
I.Le concours complet d'équitation	21
I.A.Présentation.....	21
I.A.1.Origine.....	21
I.A.2.Les épreuves.....	21
I.A.3.Le cheval et son entraînement.....	24
I.A.4.Les divers niveaux dans le concours complet.....	25
I.B.Physiologie de l'effort du cheval de concours complet.....	29
I.B.1.Métabolisme énergétique de la cellule musculaire.....	29
I.B.2.La thermorégulation.....	51
II.Nutrition et suivi médico-sportif du cheval de CCE	63
II.A.Bases théoriques de l'alimentation du cheval de sport.....	63
II.A.1.Rappels sur la digestion des équidés.....	63
II.A.2.Evaluations des besoins nutritionnels et apports alimentaires.....	66
II.A.3 Bases du rationnement.....	74
II.B.Bases pratiques de l'alimentation du cheval de CCE.....	82
II.B.1.Comportement alimentaire.....	82
II.B.2.Conséquences pratiques sur les apports alimentaires.....	82
II.B.3.Pathologies nutritionnelles du cheval de CCE et moyens de prévention.....	86
II.C.Le suivi médico-sportif.....	96
II.C.1.Suivi du poids vif et de la note d'état corporel.....	96
II.C.2.Analyse des rations.....	96
II.C.3.Bilans sanguins.....	97
II.C.4.Biopsie musculaire.....	106
II.C.5.Test d'effort standardisé.....	106
II.C.6.Quelles perspectives ?.....	109
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	113
I.Protocole expérimental	115
I.A.Objectif.....	115
I.B.Matériels et méthodes.....	115
I.B.1.Les chevaux.....	115
I.B.2.Les prélèvements.....	116
I.B.3.Les analyses.....	117
I.B.4.Rationnement alimentaire.....	122
I.C.Outils statistiques.....	133

II.Résultats de l'étude et essai d'interprétation.....	134
II.A.Paramètres qualitatifs	134
II.A.1.Population étudiée	134
II.A.2.Suivi.....	135
II.A.3.Valeurs exclues.....	135
II.A.4.Remarques notées au cours de l'étude.....	135
II.B.Paramètres quantitatifs	136
II.B.1.Estimation du poids vifs	136
II.B.2.Apports alimentaires	138
II.B.3.Paramètres sanguins.....	139
II.C.Discussion.....	165
II.C.1.Discussion critique du protocole expérimental.....	165
II.C.2.Analyse critique des résultats	167
II.C.3.Limites et avantages du Master king au vu des résultats. Perspectives	171
II.D.Annexe des résultats : données brutes	172
CONCLUSION.....	183
BIBLIOGRAPHIE	185
ANNEXES	195

Index des figures

<i>Figure 1 : Jupiter de Bros et sa cavalière lors d'une reprise Amateur Elite (illustration personnelle).</i>	22
<i>Figure 2 : Jupiter de Bros et sa cavalière sur l'entrée du gué d'une épreuve de fond d'un CCI* (illustration personnelle).</i>	23
<i>Figure 3 : Quiet Boy Montagne et sa cavalière lors du saut d'obstacle d'une épreuve cycle classique 4 ans (illustration personnelle).</i>	23
<i>Figure 4 : aspect de l'architecture d'un muscle strié squelettique (RENAULT ; 2009).</i>	29
<i>Figure 5 : organisation d'un muscle strié squelettique (MARLIN, NANKERVIS ; 2002).</i>	30
<i>Figure 6 : schéma de l'ultrastructure d'un sarcomère (RESAFAD ; 2009).</i>	31
<i>Figure 7 : représentation schématique de la structure interne d'une fibre musculaire (RIVERO ET PIERCY ; 2008)</i>	31
<i>Figure 8 : représentation schématique de la technique d'identification des fibres musculaires par l'activité de la myosine ATPase (R. POORTMANS, BOISSEAU ; 2004).</i>	34
<i>Figure 9 : Schéma bilan de la fermentation lactique (VALIERGUES ; 2003).</i>	37
<i>Figure 10 : Schéma bilan de la bêta-oxydation (VALIERGUES ; 2003).</i>	39
<i>Figure 11 : Schéma bilan glycolyse et décarboxylation oxydative (VALIERGUES ; 2003).</i>	40
<i>Figure 12 : Importance des métabolismes aérobie et anaérobie dans la production d'énergie en fonction de la durée de l'exercice (WOLTER R. ; 1999).</i>	43
<i>Figure 13 : Source de glucose pour le métabolisme énergétique glucidique dans le muscle à l'exercice (illustration personnelle).</i>	45
<i>Figure 14 : Sources d'acides gras pour l'oxydation dans le muscle à l'exercice (LAWRENCE ; 1990).</i>	47
<i>Figure 15 : les différents carburants énergétiques pour le travail musculaire en fonction de l'effort (WOLTER R. ; 1999).</i>	49
<i>Figure 16 : Tracé de la fréquence cardiaque et valeurs de la lactatémie en début et fin d'épreuve chez Newlot lors d'une épreuve de fond simple à Chantilly (GOUPIL ; 1990).</i>	50
<i>Figure 17 : Mécanismes de transfert de la chaleur corporelle chez un cheval pendant l'exercice (KARLESKIND ; 1998).</i>	53
<i>Figure 18 : Ration surface/masse corporelle du cheval et de l'homme (MARLIN et al ; 2002).</i>	53
<i>Figure 19 : schéma bilan des mécanismes de la thermorégulation</i>	56
<i>Figure 20 : Schéma des deux types de glandes sudoripares (illustration personnelle).</i>	57
<i>Figure 21 : Tractus gastro-intestinal du cheval (LEWIS ; 1995).</i>	64
<i>Figure 22 : Sites de la digestion des glucides (1), des matières grasses (2) et des minéraux (3) chez le cheval (INRA ; 1990).</i>	65
<i>Figure 23 : Sites de digestions des matières azotées chez le cheval (INRA ; 1990).</i>	65
<i>Figure 24 : Notation de l'état corporel des chevaux de selle et de sport (LAUNOIS ; 2001).</i>	75
<i>Figure 25 : représentation graphique utilisée pour la méthode de calcul graphique d'une ration journalière (INRA ; 1990).</i>	79
<i>Figure 26 : Fiche de rationnement (INRA ; 1990).</i>	80
<i>Figure 27 : Diagramme des facteurs de risque pressentis dans la genèse des coliques et leurs relations (CIRIER ; 2004).</i>	89
<i>Figure 28 : Anatomie de l'estomac du cheval (TAMZALI ; 2006).</i>	91
<i>Figure 29 : Remplissage normal de l'estomac (TAMZALI ; 2006).</i>	92
<i>Figure 30 : Mécanisme physiopathologique des ulcérations primaires de la muqueuse non glandulaire (TAMZALI ; 2006).</i>	92
<i>Figure 31 : zones de palpation pour évaluer l'état corporel (INSTITUT DE L'ELEVAGE ; 1997).</i>	96
<i>Figure 32 : Courbe de la fréquence cardiaque en fonction du temps pour le test d'effort standard chez le cheval Pontet, hongre de 7 ans, 50 % de sang (GOUPIL ; 1990).</i>	108
<i>Figure 33 : Courbe d'accumulation des lactates et des fréquences cardiaques moyennes en fonction de la vitesse lors du test d'effort standard chez le cheval Pontet (GOUPIL ; 1990).</i>	108
<i>Figure 34 : Exemple d'un bilan de stress oxydatif réalisable (TWYDIL® et PROBIOX® ; 2009).</i>	110
<i>Figure 35 : Diagramme de la gestion des échantillons au laboratoire.</i>	118
<i>Figure 36 : Composition ; teneurs en constituants analytiques, en vitamines et en oligo-éléments et caractéristiques techniques du Master Compétition (LAMBHEY ; 2008).</i>	125

<i>Figure 37 : Composition ; teneurs en constituants analytiques, en vitamines et en oligo-éléments et caractéristiques techniques du Master King (LAMBÉY ; 2008).....</i>	<i>126</i>
<i>Figure 38 : Répartition de la population étudiée selon le sexe.....</i>	<i>134</i>
<i>Figure 39 : suivi du calcium total au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>141</i>
<i>Figure 40 : suivi du magnésium au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>142</i>
<i>Figure 41 : suivi du chlore au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>144</i>
<i>Figure 42 : suivi du sodium au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>145</i>
<i>Figure 43 : suivi du potassium au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.....</i>	<i>147</i>
<i>Figure 44 : suivi de l'asat au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>149</i>
<i>Figure 45 : suivi de la cpk au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.....</i>	<i>150</i>
<i>Figure 46 : suivi de la pal au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>152</i>
<i>Figure 47 : suivi des protéines totales au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>154</i>
<i>Figure 48 : suivi de l'albumine au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>155</i>
<i>Figure 49 : suivi de l'urée au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>157</i>
<i>Figure 50 : suivi de la créatinine au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.....</i>	<i>158</i>
<i>Figure 51 : suivi du glucose au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>160</i>
<i>Figure 52 : suivi du cholestérol au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.....</i>	<i>161</i>
<i>Figure 53 : suivi des triglycérides au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.</i>	<i>164</i>
<i>Figure 54 : Nombre de valeurs observées supérieures ou égales à 0.2 mmol/L pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.....</i>	<i>163</i>

Index des tableaux

Tableau 1 : caractéristiques des différents types de fibres musculaires (R. POORTMANS, BOISSEAU ; 2004)	34
Tableau 2 : Composition comparative en électrolytes de la sueur et du plasma du cheval (Mc KEEVER ; 2008)..	58
Tableau 3 : Apports énergétiques totaux recommandés en UFC (par animal et par jour) pour un cheval de sport.	67
Tableau 4 : Apports protéiques recommandés chez le cheval de sport en g de MADC (INRA ; 1990)	68
Tableau 5 : Rôle des oligo-éléments, risques et manifestations de carence (WOLTER ; 1999).....	72
Tableau 6 : caractéristiques et fonctions des vitamines (WOLTER ; 1999).	72
Tableau 7 : Apport alimentaire recommandés pour la ration des chevaux (par kg de matière sèche pour la consommation de matière sèche figurant Tableau 8) (INRA ; 1990).	73
Tableau 8 : Niveau de consommation en kg de MS pour 100 kg de PV (WOLTER ; 1999)	75
Tableau 9 : Les différentes classes de vermifuges (VIREVIALLE et MERLIN ; 2008).....	87
Tableau 10 : Causes alimentaires de coliques (CIRIER ; 2004).	90
Tableau 11 : Tableau des différents paramètres analysables selon le bilan recherché (modifié d'après DESJARDINS et CADORE ; 2006).....	106
Tableau 12 : Test d'effort standardisé de terrain (GOUPIL ; 1990).	107
Tableau 13 : Présentation des différents chevaux de l'étude selon leur âge, sexe et race.....	116
Tableau 14 : Méthodes de dosage des différents paramètres analysés et valeurs usuelles	121
Tableau 15 : Valeurs de départ pour la hauteur au garrot, le périmètre thoracique, l'estimation du poids par calcul ou par bandeau mesureur et la note d'état corporel.....	123
Tableau 16 : caractéristiques analytiques du foin distribué	124
Tableau 17 : Tableau comparatif des deux concentrés utilisés.	127
Tableau 18 : Tableau des besoins nutritionnels en fonction du poids et de l'activité (travail moyen).....	128
Tableau 19 : Valeurs nutritives apportées par le foin à chaque cheval.....	129
Tableau 20 : Valeurs nutritives apportées par le Master Compétition à chaque cheval.....	129
Tableau 21 : Valeurs nutritives apportées par le Master King à chaque cheval	130
Tableau 22 : Bilan besoins/apports nutritionnels (foin + Master Compétition).....	131
Tableau 23 : Bilan besoins/apports nutritionnels (foin + Master King)	132
Tableau 24 : Type et nombre de compétitions auxquelles les chevaux ont pris part pendant l'étude	135
Tableau 25 : Suivi du poids corporel des 9 chevaux sur la période d'expérimentation	137
Tableau 26 : Besoins/apports nutritionnels pour Prémice au cours de l'expérimentation.....	138
Tableau 27 : Besoins/apports nutritionnels pour Ludovic au cours de la période sous Master king	138
Tableau 28 : valeur moyenne du calcium total pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	140
Tableau 29 : valeur moyenne du magnésium pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	140
Tableau 30 : valeur moyenne du chlore pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	143
Tableau 31 : valeur moyenne du sodium pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	143
Tableau 32 : valeur moyenne du potassium pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	146
Tableau 33 : valeur moyenne de l'asat pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	148
Tableau 34 : valeur moyenne de la cpk pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	148
Tableau 35 : valeur moyenne de la pal pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	151
Tableau 36 : valeur moyenne des protéines totales pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	153
Tableau 37 : valeur moyenne de l'albumine pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.	153

<i>Tableau 38 : valeur moyenne de l'urée pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.</i>	156
<i>Tableau 39 : valeur moyenne de la créatinine pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.</i>	156
<i>Tableau 40 : valeur moyenne du glucose pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.</i>	159
<i>Tableau 41 : valeur moyenne du cholestérol pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.</i>	159
<i>Tableau 42 : valeur moyenne des triglycérides pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.</i>	162
<i>Tableau 43 : Nombre de valeurs observées supérieures ou égales à 0.2 mmol/L pour l'acide bêta-hydroxybutyrate pour le Master compétition (1) et le Master king (2).</i>	162

Liste des abréviations

AGE : Acides Gras Essentiels
AGL : Acides Gras Libres
AGV : Acides Gras Volatils
AINS : Anti-Inflammatoire Non Stéroïdien
ASAT : ASpartate Amino-Transférase
ATP : Adénosine TriPhosphate
 β -OH : Acide bêta-hydroxybutyrate
CCE : Concours Complet d'Equitation
CCI : Concours Complet Internationaux
CIC : Concours Internationaux Combinés
CK ou CPK : Créatine kinase ou créatine phosphokinase
CMV : Complément Minéral et Vitaminique
COX : Cyclo-OXYgenase
EGUS : Equine Gastric Ulcer Syndrome
FEI : Fédération Equestre Internationale
FFE : Fédération Française Equestre
GGT : Gamma-Glutamyl-Transférase
HPIE : Hémorragie Pulmonaire Induite par l'Exercice
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
LDH : Lactate DésHydrogénase
MADC : Matières Azotées Digestibles Cheval
MEq : MilliEquivalent
MG : Matière Grasse
MRE : Myopathie Récurrente à l'Exercice
MS : Matière Sèche
NRC : National Research Council
PAL : Phosphatase Alcaline
PPM : Parties Par Million
PSSM : PolySacharride Storage Myopathy
PT : Protéines Totales
PV : Poids Vif
SDH : Sorbitol DésHydrogénase
SHF : Société Hippique Française
UFC : Unité Fourragère Cheval
VLDL : Very Low Density Lipoprotein

INTRODUCTION

Le cheval a, depuis maintenant de nombreuses années, pris une place très particulière au sein de notre société. De l'animal de compagnie au cheval de travail, il sait se décliner sous de multiples facettes. Désormais, le cheval de sport est bien plus considéré comme un athlète et un tel statut a renforcé l'intérêt porté à son hygiène de vie. Tout comme la médecine sportive humaine, la médecine sportive équine tend donc à se développer pour permettre à ces athlètes de donner le meilleur d'eux même. Les connaissances modernes en nutrition équine permettent également d'assurer de bons résultats zootechniques tout en minimisant les multiples troubles déclenchés ou favorisés par des erreurs alimentaires.

Si de nombreuses études ont été menées tant sur l'entraînement que sur le rationnement des chevaux de course que ce soit de sprint ou d'endurance, ou encore des chevaux de concours hippique, il existe bien moins de travaux concernant les chevaux de concours complet. Pourtant, cette discipline très atypique, peut difficilement se rapprocher des autres sports équestres et notamment par la particularité de son épreuve de cross-country. Et s'il est vrai que le concours complet est moins pratiqué que le concours de saut d'obstacles, il n'en reste pas moins une des disciplines olympiques les plus spectaculaires et mérite notre attention pour cette partie non négligeable de l'équitation en France (environ 18000 engagements en CCE en France en 2008, selon la FFE) et dans le monde entier.

Aussi, cette étude va nous permettre de suivre des chevaux de concours complet de différents niveaux sur une période de six mois. En effet, la gestion de leur alimentation avec notamment deux aliments concentrés différents sera corrélée au suivi de certains paramètres biochimiques sanguins.

Après une présentation de la discipline, nous nous attacherons dans une première partie à la physiologie de l'effort et à la nutrition des chevaux de sport, en particulier de CCE, ainsi qu'au suivi médical et sportif qu'il est possible de réaliser.

Dans une deuxième partie, nous détaillerons tout d'abord le protocole expérimental mis en place sur nos chevaux pendant ces six mois puis nous tenterons d'interpréter les résultats obtenus tant sur les aspects qualitatifs que sur les paramètres quantitatifs.

Première partie :
Etude bibliographique

I.Le concours complet d'équitation

Pour comprendre l'intérêt porté à la nutrition, à l'entraînement ou encore au suivi médical et sportif des chevaux de concours complet, il est important de saisir les nuances d'une telle discipline et notamment de l'épreuve de fond par rapport à toutes autres. En effet, l'évolution du CCE sous forme de trois épreuves bien distinctes : dressage-saut d'obstacles-cross ; régie le suivi du cheval au quotidien quelque soit le niveau de compétition. Comment se déroule ces épreuves, quels en sont les différents niveaux et que cela implique t-il sur l'entraînement du cheval ?

I.A.Présentation

I.A.1.Origine

Le concours complet d'équitation (CCE) tire ses origines d'épreuves militaires. En effet, à l'époque où le cheval était le moyen de transport des armées, on attendait de lui d'être endurant et fort mais aussi dressé suffisamment pour rester fiable en toutes circonstances. Aussi, pour tester les chevaux, des épreuves d'endurance et de franchissement d'obstacles sur 30 à 70 km ont vu le jour.

C'est au début du XX^{ème} siècle que l'on retrouve en France les épreuves qui se rapprochent du complet actuel : le championnat du cheval d'arme. Il était constitué de quatre phases visant à évaluer les chevaux : dressage, steeple-chase, randonnée de 48 km et compétition de sauts.

Jusqu'aux Jeux Olympiques de Londres en 1948, les anglo-saxons ne pratiquaient pas ou peu la discipline. Suite à cet événement, le CCE connut un grand essor en Grande Bretagne et se développa de manière à rendre plus accessible cette discipline. Aujourd'hui, ce pays organise deux des concours complet internationaux quatre étoiles, le plus haut niveau pour un CCE, reconnus par la fédération équestre internationale (Badminton et Burghley).

Ce n'est que dans les années 80 que la discipline s'est développée en France au sein des centres équestres et se pratique auprès d'un groupe plus large de cavaliers (GALLOUX ; 2000)

I.A.2.Les épreuves

Des trois épreuves qui composent le concours complet, deux sont des disciplines à part entière : le dressage et le saut d'obstacles. L'ordre traditionnel est dressage, cross puis saut d'obstacles ; l'épreuve de dressage permettant d'évaluer la soumission, le cross testant la force et l'endurance et le saut d'obstacle l'état de fraîcheur du cheval. Néanmoins l'ordre dressage, obstacle puis cross est rencontré depuis quelques temps à tous niveaux de la compétition.

I.A.2.a)Le dressage

Le couple cheval-cavalier évolue sur une carrière de 60 m x 20 m (ou 40 m x 20 m pour certaines épreuves poney) et exécute dans un ordre imposé une série de figures ce qui constitue la « reprise ». Le jury attribue des notes allant de zéro à dix permettant d'évaluer un certain nombre de paramètres comme la précision d'exécution des figures, la soumission du cheval, la qualité de ses allures, l'impulsion, la position du cavalier, le bon usage des aides...

Le dressage demandé est d'un niveau moindre et diffère en plusieurs points dans l'attitude du cheval par rapport à un concours de dressage traditionnel.



Figure 1 : Jupiter de Bros et sa cavalière lors d'une reprise Amateur Elite (illustration personnelle).

I.A.2.b)Le cross

Le cross, ou épreuve de fond, est une discipline qui ne se pratique que dans le cadre d'un concours complet. Il se déroule sur des terrains naturels (plaine, bois, gué...) et comporte des obstacles fixes contrairement au saut d'obstacles où les barres sont mobiles et peuvent tomber si le cheval les heurte. Le train demandé est également plus élevé qu'en saut d'obstacles : de 450 m/min à 570 m/min contre en moyenne 350 m/min (ceci est valable pour les épreuves cheval).

L'objectif du couple est donc de franchir tous les obstacles dans l'ordre en se rapprochant le plus près du temps idéal, calculé à partir de la distance mesurée et du temps imposé, sans toutefois le dépasser.

Le profil de franchissement des obstacles présente une large diversité : chacun impose des difficultés qui font appel à des qualités différentes des concurrents.



Figure 2 : Jupiter de Bros et sa cavalière sur l'entrée du gué d'une épreuve de fond d'un CCI* (illustration personnelle).

I.A.2.c) Le saut d'obstacles

Les concurrents doivent franchir un certain nombre d'obstacles dans un terrain limité et en dessous d'un temps accordé. Le but initial est de tester l'état de fraîcheur des chevaux après le parcours de cross. En effet, la fatigue peut amener un cheval à faire des fautes plus facilement. Néanmoins, un certain nombre d'épreuves voit le saut d'obstacles se dérouler avant le cross pour des raisons pratiques d'organisation.



Figure 3 : Quiet Boy Montagne et sa cavalière lors du saut d'obstacle d'une épreuve cycle classique 4 ans (illustration personnelle).

I.A.3. Le cheval et son entraînement

L'entraînement est la phase la plus importante du processus : tout comme un athlète humain le cheval doit être préparé physiquement pour les compétitions et d'autant plus que le niveau est élevé.

Le concours complet requiert beaucoup de travail sur le plat non seulement pour préparer à la reprise de dressage mais aussi pour développer l'entente et la communication du couple ainsi que la musculature et la souplesse du cheval.

De plus, l'endurance et la résistance aux efforts de type aérobie doivent également être développées par le biais de « trotting » et/ou canter (galop sur une distance moyenne) afin que les fonctions cardiaque et respiratoire soient préparées aux efforts intenses fournis lors de l'épreuve de fond.

Le travail sur les barres avec notamment des exercices de gymnastique est indispensable pour acquérir une bonne technique et pouvoir évoluer dans les meilleures conditions sur le parcours de saut d'obstacles.

Les jours de repos, de détente, de longe et de balade font partie intégrante de la préparation car ils contribuent à entretenir l'état physique du cheval (récupération) et son état moral, les deux conditions indispensables pour bien aborder une compétition.

Au niveau physiologique, l'entraînement a de multiples effets et notamment sur :

- la VO_2 max (cf. partie B.1.c)(2)(b))

- le système cardiovasculaire : de nombreuses études ont été réalisées et certaines indiquent une corrélation entre la taille du ventricule gauche mesurée par échocardiographie sur des chevaux entraînés et leur VO_2 max, et également une augmentation de la vitesse pour une même fréquence cardiaque maximale. (YOUNG et al. ; 2002).

- les paramètres sanguins : plusieurs études ont été menées pour démontrer les effets de l'entraînement sur les paramètres hématologiques. Ainsi Rose et Hodgson ont pu tirer des conclusions sur les effectifs de pur sang suivis (ROSE et HODGSON ; 1994). Ils constatent que l'entraînement induit une augmentation du nombre d'hématies quelque soit l'âge du cheval, en fonction du temps passé à l'entraînement. De la même manière, le taux d'hémoglobine augmente avec l'entraînement. Ceci constitue une adaptation d'importance non négligeable en termes de transport d'oxygène.

Les paramètres biochimiques plus spécifiquement : les paramètres biochimiques mesurables dans le sang (sauf les lactates) ne semblent pas particulièrement affectés par l'entraînement. Néanmoins certains auteurs notent une légère augmentation des ASAT et GGT avec l'entraînement (TYLER et al. ; 1999), alors que les CK retrouvent rapidement une valeur identique au pré-entraînement ce qui indiquerait une certaine adaptation de l'organisme au microtraumatismes musculaires induits par l'exercice). Dans certains cas, les paramètres rénaux sont modifiés avec une baisse de l'urée et une augmentation de la créatinine plasmatique (JUDSON et al. ; 1983).

- le système respiratoire : même si la fonction respiratoire proprement dite n'est pas influencée par l'entraînement, l'augmentation du nombre d'érythrocytes et du taux d'hémoglobine favorise la consommation, le transport et l'utilisation de l'oxygène.

- les muscles (cf. partie B.1.a)(3)(c)).

- la lactatémie : les lactates permettent d'estimer la bonne ou mauvaise adaptation à l'entraînement ainsi que la fatigue du cheval car ils sont les produits du métabolisme

anaérobie. La relation lactate/vitesse lors de la réalisation d'une épreuve d'effort standardisée permet de calculer la vitesse du cheval à une lactatémie de 4 mmol/L. Cette vitesse (notée V4) donne un indice de la capacité aérobie du cheval (ROSE et HODGSON ; 1994). Ainsi, si le cheval répond bien à l'entraînement, la lactatémie diminue pour une même intensité de travail et V4 augmente. Le cheval tolère mieux l'effort et repousse son seuil de fatigue (cf. partie II.C.5)).

- la thermorégulation (cf. partie B.2.c)(1)).

Un cheval de CCE de haut niveau, s'il est préparé dès le débouillage, pourra atteindre son niveau optimal vers 8 ou 9 ans. Sa carrière dure en moyenne une petite dizaine d'années et passé 16 ans, la plupart des chevaux sont mis à la retraite (même s'il existe des exceptions...).

Le volume d'entraînement du cheval doit être bien mené car un volume en dessous de ce qui pourrait être optimal est insuffisant pour avoir la meilleure performance tandis qu'un volume trop important peut conduire au syndrome de surentraînement et à des atteintes musculosquelettiques :

« Le surentraînement est la conséquence d'une activité sportive menée à un rythme trop soutenu et pendant trop longtemps, avec des périodes de récupération incomplètes et une accumulation de fatigue. Il se manifeste par une baisse des performances sportives et un cortège de signes cliniques divers parfois discrets et variables » (MONOD et FLANDROIS ; 1997).

Il apparaît dans certaines études où les chevaux ont été placés en situation de surentraînement que cet état ne s'installe que très progressivement après plusieurs semaines d'exercices (TYLER et al., 1999).

Ce syndrome s'accompagne toujours d'une baisse de performance et de tolérance à l'effort ainsi que de signes cliniques variés plus ou moins subjectifs tels que :

- augmentation de la fréquence cardiaque au repos
- baisse de l'appétit et perte de poids associée
- raideurs musculaires
- blessures
- sensibilité accrue aux infections (dépression immunitaire) accompagnée de modifications de la formule sanguine (neutropénie).

Il n'y a aucun signe pathognomonique marquant un syndrome de surentraînement. Toutefois, certains travaux réalisés chez l'homme (LAURE et DINE ; 2001) suggèrent qu'une élévation notable des taux d'urée et de CK associés à une diminution de la tolérance à l'exercice pourraient constituer un marqueur fiable pour le diagnostic de surentraînement. Chez le cheval, des études (BRUIN et al ; 1994) ont montré que la créatine plasmatique pourrait être utilisée comme marqueur pour un diagnostic précoce de surentraînement.

I.A.4. Les divers niveaux dans le concours complet

Les compétitions de la Fédération Française d'Equitation (FFE) sont faites pour que les concurrents de tous niveaux et de tous âges puissent y participer. On distingue ainsi les épreuves Club, les épreuves Ponam, les épreuves Amateur et les épreuves Pro. Seules les deux dernières divisions seront présentées ici.

La Société Hippique Française (SHF) recherche par le biais de ses épreuves d'élevage une sélection et une amélioration génétique des races de chevaux de selle et de sport et de poneys.

Les compétitions de la Fédération Equestre Internationale (FEI) sont destinées à des concurrents de haut niveau.

I.A.4.a) Les épreuves d'élevage

« Les épreuves d'élevage sont des épreuves spécifiques fondées sur une appréciation objective des qualités des jeunes chevaux et poneys, indépendamment de toute performance sportive. » (SHF ; 2008).

« Elles sont destinées à :

- mettre en valeur leurs aptitudes naturelles
- apprécier leur modèle et évaluer leur potentiel
- vérifier et compléter leur formation de base
- contrôler leur état de conservation. » (SHF ; 2008)

Les épreuves d'aptitudes au concours complet sont groupées en deux cycles différents :

- un cycle classique pour les chevaux de 4, 5 et 6 ans. Il comporte des épreuves régionales (4 ans, 5 ans, 6 ans B et 6 ans A) puis une finale nationale, pour les chevaux ayant obtenu leur qualification, comportant pour chaque génération un Critérium et un Championnat où les jeunes chevaux sont classés en ELITE, EXCELLENT ou TRES BON.

- un cycle libre pour les chevaux de 5 et 6 ans. Le cycle libre 1^{ère} année est réservé aux chevaux de 5 ans et de 6 ans n'ayant pas couru à 5 ans et le cycle libre 2^{ème} année est réservé aux chevaux de 6 ans. Les chevaux ayant obtenu leur qualification en épreuves régionales peuvent accéder à la finale nationale. Ces cycles sont fermés aux cavaliers PRO.

➤ *Cycle classique 4 ans*

L'épreuve comprend une phase sur carrière et un parcours de fond. La première phase se déroule sur un terrain de 50m x 70m environ. Elle se compose de mouvements sur le plat (annexe 1) et d'un parcours de six obstacles dont les normes sont détaillées en Annexe 2.

Le parcours de fond est de 1000 à 1200 mètres avec entre 10 et 12 obstacles à franchir dont au moins une combinaison simple à 2 foulées, un obstacle sur fossé, un obstacle de terre et si possible un passage dans l'eau. Les normes techniques du parcours de fond sont détaillées en Annexe 3.

Les jeunes chevaux de 4 ans ne peuvent participer qu'à cette épreuve en CCE avec un maximum de 7 compétitions dans la saison. Cette limite permet une évolution progressive dans la discipline et doit favoriser un entraînement raisonné à la base d'un développement adéquat par rapport à l'âge et aux futures perspectives de compétition.

Ce cycle est ouvert aux cavaliers Amateur et Pro.

➤ *Cycles classiques 5 et 6 ans*

Ces épreuves sont principalement destinées à valoriser les jeunes chevaux que ce soit pour la vente ou pour une future carrière internationale. Elles sont dans la continuité des cycles classiques 4 ans : elles permettent une bonne préparation physique et mentale grâce à des parcours à difficultés progressives sur l'ensemble de la saison ce qui demande un entraînement adapté et un suivi nutritionnel conséquent.

Les normes techniques sont détaillées en Annexe 3

Ces cycles sont ouverts aux cavaliers Amateur (sauf les 6 ans A en deuxième partie de saison) et Pro.

Remarque : La 1^{ère} partie de saison va du début de l'année jusqu'à la semaine 24 et la 2^{ème} partie de saison de la semaine 25 à la fin de l'année.

➤ *Cycle libre 1^{ère} et 2^{ème} année*

Ces épreuves ont le même objectif que les épreuves de cycle classique mais elles assurent la valorisation des chevaux uniquement par des cavaliers Amateurs. Aussi, le niveau est inférieur en cycle libre pour une même classe d'âge par rapport au cycle classique.

Les normes techniques sont détaillées en Annexe 3

I.A.4.b) Les épreuves Nationales

I.A.4.b)(1) Les épreuves Amateur

« La compétition Amateur répond à une logique sportive de loisir, réunissant les exigences combinées de rigueur, d'animation et de convivialité. » (FFE ; 2008).

Le niveau des épreuves augmente selon : Amateur 4 < Amateur 3 < Amateur 2 < Amateur 1 < Amateur 1 Grand Prix < Amateur Elite < Amateur Elite Grand Prix. Pour pouvoir participer à une épreuve d'un niveau supérieur, le couple doit être qualifié le plus souvent en obtenant un classement dans une épreuve inférieure. Exemple : pour participer à une épreuve Amateur 1, le couple doit s'être classé dans une épreuve Amateur 2.

La reprise de dressage est de plus en plus technique et longue avec le niveau. Les normes techniques du saut d'obstacles et du cross suivent la même logique et sont détaillées en Annexe 4.

I.A.4.b)(2) Les épreuves Pro

« La compétition Pro rassemble les concurrents orientés vers le haut niveau et la performance. » (FFE ; 2008).

Comme pour les épreuves Amateur, le niveau des épreuves augmente selon : Pro 3 < Pro 2 < Pro 1 < Pro Elite < Pro Elite Grand Prix.

La technicité des reprises de dressage évolue dans le même ordre tout comme les normes techniques du saut d'obstacles et du cross (Annexe 4).

I.A.4.c) Les épreuves Internationales

Toutes les données sont tirées du « Règlement des concours complet de la Fédération Equestre Internationale » 23^{ème} édition effective au 1^{er} janvier 2009 et toute modification ultérieure faite à ce jour (FEI ; 2009).

On distingue deux types de compétition : les concours complets internationaux (CCI) et les concours internationaux combinés (CIC).

I.A.4.c)(1) Les concours complets internationaux

Le CCI comporte les trois phases classiques d'un concours complet et celles-ci se déroulent obligatoirement sur des jours différents et dans l'ordre dressage-cross-saut d'obstacles. Il se distingue selon son niveau allant d'une étoile à quatre étoiles ; le CCI**** exigeant le plus haut niveau d'expérience et d'entraînement du couple cavalier/cheval (il n'y en a que six dans le monde...)

Les chevaux subissent deux inspections durant l'événement : la première avant le dressage et la deuxième avant le saut d'obstacle. Ces inspections permettent de vérifier la condition physique du cheval (absence de boiterie, état général...). Le jury peut décider d'éliminer les concurrents dont les chevaux ne satisfont pas aux inspections.

L'épreuve de dressage se déroule sur une ou deux journées consécutives selon le nombre de concurrents. La reprise a toujours lieu sur un rectangle de 60m x 20m et dure en moyenne 5 minutes. Pour chaque niveau, on trouve deux textes de reprise : A et B. La reprise B du CCI* est détaillée en Annexe 5.

Le deuxième jour a lieu l'épreuve de cross. Les CCI étaient habituellement au "format long", classique ou traditionnel, avec l'épreuve de fond en 4 phases (phase A: parcours routier de 10 minutes, phase B: steeple-chase, phase C: 2ème routier de 30 minutes puis enfin phase D: le cross). Ils sont maintenant presque tous au format court, sans steeple-chase ni routiers, et appelés CCI sans SC (sans Steeple-chase) ou CCI w-out SC (without steeple chase). Les normes techniques de l'épreuve de fond sont récapitulées en Annexe 6.

Le lendemain du cross a lieu l'épreuve de saut d'obstacles dont les normes sont présentées en Annexe 6.

I.A.4.c)(2) Les concours internationaux combinés

Le CIC comporte également les trois étapes classiques mais celles-ci peuvent avoir lieu sur un, deux ou trois jours, le dressage étant la première épreuve imposée.

Le nombre d'étoile d'un CIC va d'une à trois. Ils se déroulent toujours sans les phases A, B et C.

Les textes des reprises de dressage sont les mêmes qu'en CCI.

Les normes techniques pour le saut d'obstacles sont les mêmes que celles des CCI (Annexe 6). Les caractéristiques des obstacles de cross sont également les mêmes qu'en CCI mais d'autres normes, comme les distances, varient (Annexe 6).

L'essentiel :

* Les épreuves d'élevage sont progressives et permettent ainsi une évolution parallèle de la difficulté et de l'adaptation du cheval à ce type d'effort.

* Le passage à des épreuves d'un niveau supérieur requiert non seulement des capacités intrinsèques du cheval mais également un entraînement adéquat, une nutrition adaptée et un suivi médico-sportif.

* Le concours complet est donc une discipline qui porte bien son nom : elle impose l'exigence d'une bonne entente et communication au sein du couple, d'un entraînement réfléchi permettant de répondre à des efforts d'endurance et de résistance et d'une technique sans faille développée pour le franchissement sans faute des obstacles. Le bon déroulement des compétitions repose certes sur le travail en aval du couple et sur leurs qualités propres mais aussi sur le suivi du cheval avec une bonne gestion de son entraînement, tant physique que mental, de sa nutrition et surtout de son état de santé général.

I.B. Physiologie de l'effort du cheval de concours complet

Afin de bien comprendre la physiologie de cet effort particulier, il est important de rappeler dans un premier temps les caractéristiques des fibres musculaires intervenant dans l'exercice et leur métabolisme énergétique puis il convient d'expliquer pourquoi la thermorégulation est un phénomène indispensable chez le cheval à l'effort, quels en sont les moyens et les conséquences.

I.B.1. Métabolisme énergétique de la cellule musculaire

Les muscles participant à l'exercice ont des caractéristiques spécifiques avec des fibres contractiles dont les propriétés orientent le métabolisme et le travail rendu. L'apport d'énergie est conséquent et les voies de production font appel à différents substrats renouvelés ultérieurement par le biais de l'alimentation.

I.B.1.a) Le muscle

I.B.1.a)(1) Structure

➤ Architecture musculaire

Les muscles intervenant dans la locomotion sont des muscles striés. Ils sont constitués à 90% de myocytes (aussi nommés cellules musculaires striées ou fibres musculaires), le reste étant représenté par des nerfs, des vaisseaux sanguins et du tissu conjonctif qui sépare les fibres individuelles (endomysium), les faisceaux (perimysium) et le muscle entier (epimysium) (Figure 4). Le corps du muscle strié est relié au squelette par l'intermédiaire d'aponévroses et de tendons.

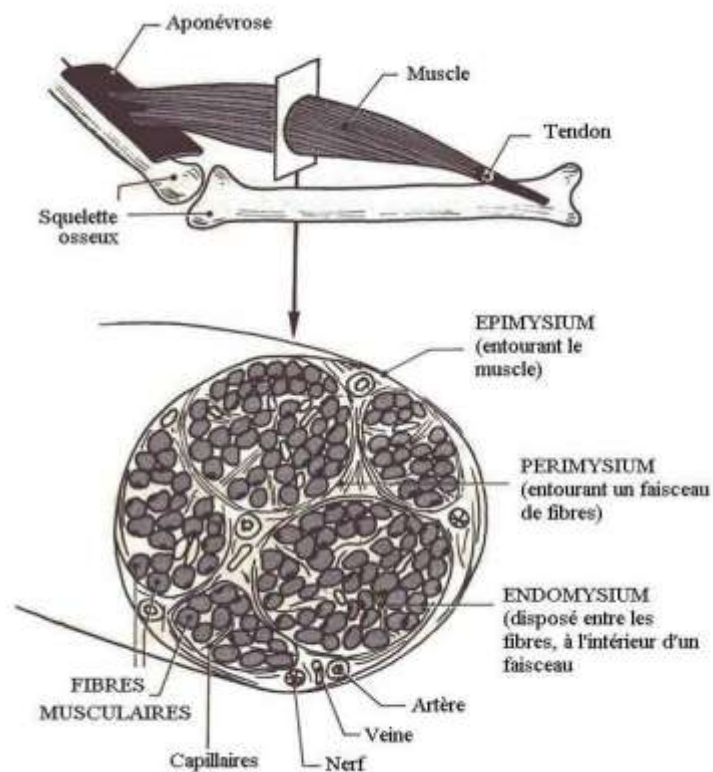


Figure 4 : aspect de l'architecture d'un muscle strié squelettique (RENAULT ; 2009)

➤ Ultrastructure de la cellule musculaire striée squelettique

Le myocyte est une cellule fusiforme d'environ 50 μm de diamètre et pouvant atteindre jusqu'à 50 cm de longueur. Son cytoplasme renferme en plus des organites habituels de nombreux grains de glycogène, une quantité importante de mitochondries, de la myoglobine qui permet le stockage d'oxygène, deux systèmes de réticulum endoplasmique lisse et des fibres contractiles organisées spécifiquement : les myofibrilles (Figure 5).

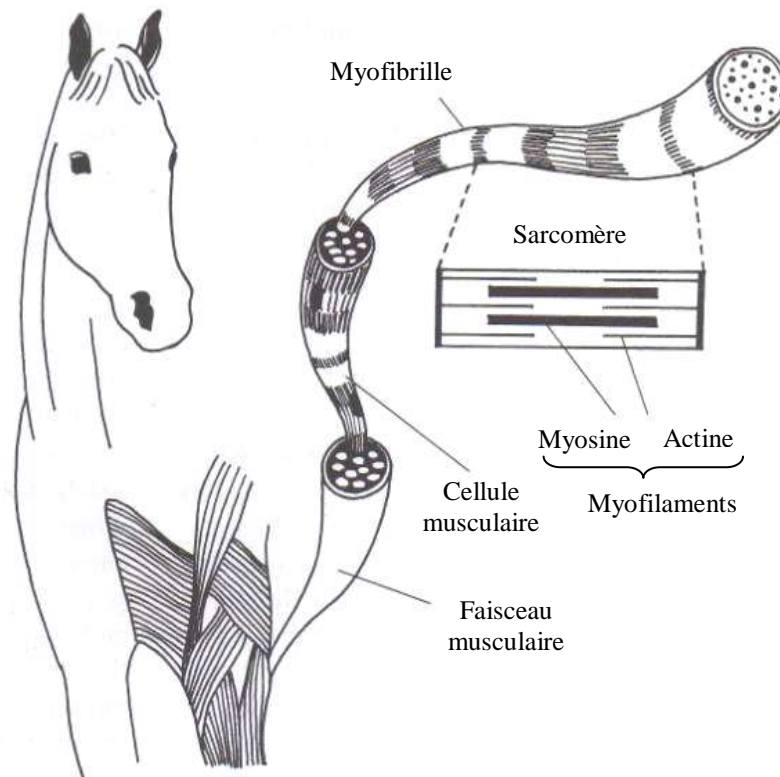


Figure 5 : organisation d'un muscle strié squelettique (MARLIN, NANKERVIS ; 2002)

Les myofibrilles s'organisent en des petits cylindres disposés parallèlement de façon régulière : cet élément répétitif et fonctionnel de base est appelé sarcomère. Chaque sarcomère contient un faisceau de myofilaments dont on distingue deux types : les filaments fins d'actine et les filaments épais de myosine (Figure 5 et Figure 6). Leur répartition détermine une striation périodique bien visible au microscope optique, caractérisée par l'alternance de bandes sombres A (anisotropes) et de bandes claires I (isotropes). La partie centrale des disques I est marquée par la strie Z qui correspond à l'interpénétration des extrémités des filaments fins de deux sarcomères contigus. La zone plus claire qui apparaît au milieu du disque A est la strie H où seuls les filaments de myosine sont présents. La bande M correspond à un renflement médian (Figure 6) (MARLIN et NANKERVIS ; 2002).

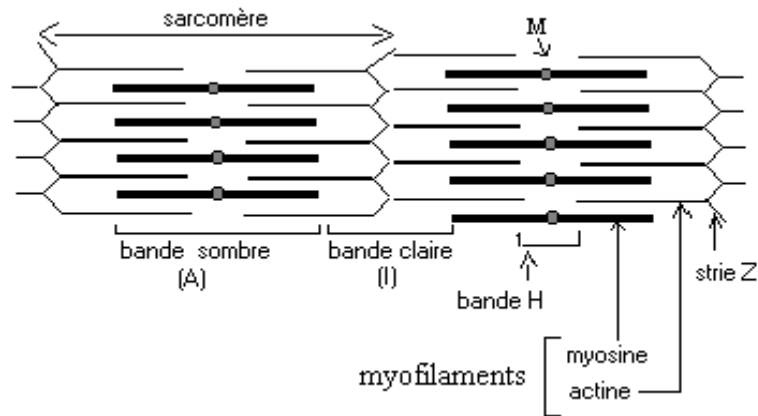


Figure 6 : schéma de l'ultrastructure d'un sarcomère (RESAFAD ; 2009)

Chaque myofibrille est entourée par un réseau de canalicules anastomosés qui constitue le réticulum sarcoplasmique. Ces canalicules se réunissent périodiquement pour former des citernes terminales à chaque jonction entre disque I et disque A. Ces citernes sont le siège de fortes concentrations en calcium. Par ailleurs, au niveau de chaque jonction entre disque I et disque A, on observe entre deux citernes terminales adjacentes une invagination tubulaire transversale de la membrane plasmique des myocytes. Chaque tubule forme ainsi avec deux citernes terminales adjacentes ce qu'on appelle une triade. L'ensemble des triades se nomme système sarcotubulaire ou système T (Figure 7).

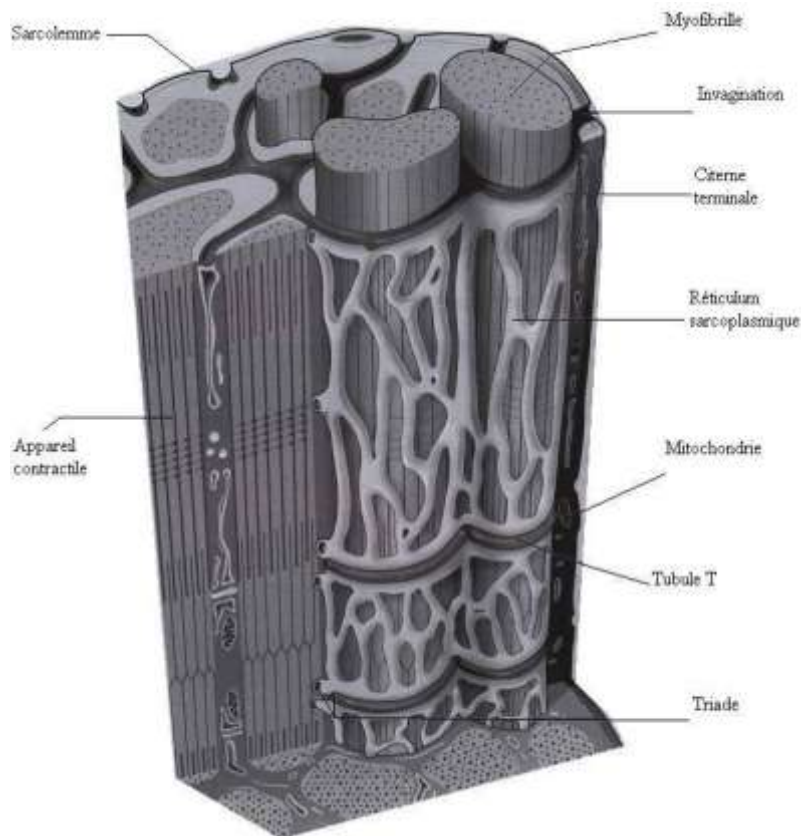


Figure 7 : représentation schématique de la structure interne d'une fibre musculaire (RIVERO ET PIERCY ; 2008)

1.B.1.a)(2) Fonctionnement : mécanisme de la contraction

Le phénomène de contraction musculaire correspond à un raccourcissement des sarcomères dû au glissement relatif des filaments d'actine et de myosine : les deux disques Z délimitant un sarcomère se rapprochent l'un de l'autre. Cette action se produisant simultanément pour tous les sarcomères de la cellule, il en résulte un raccourcissement global de la fibre musculaire selon l'axe longitudinal.

La progression des filaments d'actine entre les filaments de myosine est associée à la déphosphorylation d'ATP musculaire ainsi qu'à la présence d'ions calcium présents en concentration élevée dans les citernes du système sarcotubulaire. Sous l'influence d'un influx nerveux, une vague de dépolarisation se propage à la membrane plasmique puis le long du système sarcotubulaire. Il en résulte la libération des ions calcium nécessaires à la contraction musculaire par leur rôle modificateur des ponts d'union entre l'actine et la myosine.

L'ensemble des mécanismes aboutissant à la contraction se fait suite à une stimulation d'origine nerveuse : il s'agit du couplage excitation-contraction.

Le relâchement du muscle est obtenu par un retour à une concentration intracellulaire initiale en ions calcium (accumulation active à l'intérieur du réticulum sarcoplasmique).

1.B.1.a)(3) Composition : les différents types de fibres musculaires

La composition en fibres varie de façon inter et intramusculaire puisque chaque type de fibres diffère selon ses propriétés intrinsèques (caractéristiques contractiles, potentiel métabolique...) pour permettre à chaque muscle de remplir une ou plusieurs fonctions (posture, locomotion...). Ces fibres sont ainsi identifiables selon leurs propriétés ce qui permet de les classer et d'observer les différentes variations secondaires à la sélection génétique ou l'entraînement. Le cheval de CCE étant sujet à des efforts multiples qui font participer successivement chaque type de fibres, il convient donc d'aborder la typologie musculaire.

1.B.1.a)(3)(a) Système de classification

Le système le plus couramment utilisé et qui est employé ici et celui distinguant les fibres de type I et II (avec les sous groupes IIa, IIb et IIc). Les données sont principalement tirées des ouvrages de Wolter (1999), Poortmans et Boisseau (2004), Rivero et Piercy (2008).

D'autres systèmes peuvent être rencontrés mais ne seront pas détaillés ici :

- fibres Slow Twitch, Fast Twitch High et Fast Twitch
- fibres Slow Oxydative, Fast Oxydative Glycolytic et Fast Glycolytic

➤ Les fibres de type I

Elles s'identifient par leur grande faculté de métabolisme aérobie permettant une combustion complète, sans déchet, des substrats énergétiques (notamment des lipides en plus des glucides). Elles se montrent peu fatigables, avec une vitesse de contraction lente, en rapport avec un débit énergétique modéré. Ce sont donc les fibres particulièrement propices à l'effort d'endurance.

➤ Les fibres de type IIb

Elles ont des caractéristiques opposées : combustion exclusivement glucidique, principalement anaérobie, et incomplète avec accumulation d'acide lactique. Le rendement en énergie (ATP) est alors médiocre et entraîne des fortes déperditions thermiques. Les fibres IIb ont donc une contraction très rapide et favorable à l'effort de puissance et du sprint court.

➤ *Les fibres de type IIa*

Elles ont des propriétés métaboliques intermédiaires. Leur approvisionnement énergétique provient quasi totalement des glucides qui, grâce à un bon métabolisme aérobie, subissent majoritairement une combustion complète, sans accumulation d'acide lactique. Le rendement énergétique est excellent et la perte de chaleur modérée. Par conséquent, ses fibres sont spécialisées pour la tenue de la vitesse : elles sont particulièrement utiles au sprint long.

➤ *Les fibres de type IIc*

Elles ont des propriétés intermédiaires entre les fibres I et IIa. Elles ne sont présentes qu'en faible proportion et correspondraient à une forme transitoire de fibre possédant à la fois des chaînes de myosine rapide et lente.

Ces fibres métaboliques conditionnent la spécialité sportive et imposent une adaptation adéquate de la ration alimentaire (WOLTER, 1999).

I.B.1.a)(3)(b) Modalités de classification

Chaque type de fibre utilise de préférence un type de substrat et possède des propriétés spécifiques que nous allons détailler.

➤ *Potentiel oxydatif*

Les activités des enzymes oxydatives peuvent être mises en évidence par coloration des coupes de tissu musculaire : les variations d'intensité de coloration permettent de différencier l'activité faible ou élevée des fibres (ROSE et HODGSON ; 1994). Ainsi, en associant ce type de réaction avec celui de la myosine ATPase, on distingue 3 types de fibres musculaires :

- fibres à contraction lente et à haut potentiel oxydatif (Slow Twitch) : fibres I
- fibres à contraction rapide et à haut potentiel oxydatif (Fast Twitch High) : fibres IIa
- fibres à contraction rapide et à potentiel oxydatif réduit (Fast Twitch) : fibres IIb

➤ *Propriétés contractiles*

La technique la plus utilisée pour déterminer la spécificité des fibres musculaires est celle utilisant la sensibilité différentielle de la myosine ATPase en réponse à une pré-incubation dans un milieu acide ou alcalin. Des sections de muscles sont pré-incubées dans un milieu alcalin (pH = 10.3), ou dans un milieu acide (pH = 4.35 ou 4.6) avant d'être ajoutées à une solution d'ATP tamponnée à pH = 9.4. L'ATP est hydrolysée en ADP + Pi. Le Pi, par divers procédés chimiques non détaillés ici (R. POORTMANS, BOISSEAU ; 2004), est converti en sulfure de cobalt qui peut varier du noir au blanc selon la quantité initiale de Pi. On distingue ainsi les fibres à contraction lente nommées fibres I (peu colorées) de celles à contraction rapide nommées fibres II (fortement colorées). La pré-incubation en milieu acide à pH = 4.6 sépare les fibres II en deux sous groupes IIa et IIb : le premier devient incolore tandis que le second reste moyennement coloré. La pré-incubation à pH = 4.35 inverse la coloration des fibres I et II observée à pH = 10.3 : les fibres I deviennent noires, les II sont incolores mais un faible pourcentage de fibres II reste coloré ; ce sont les fibres IIc (Figure 8).

Les différences de poids moléculaire et de charges électriques des chaînes lourdes de la myosine lente et rapide permettent également de les séparer par la technique de l'électrophorèse sur gel de polyacrylamide (R. POORTMANS, BOISSEAU; 2004).

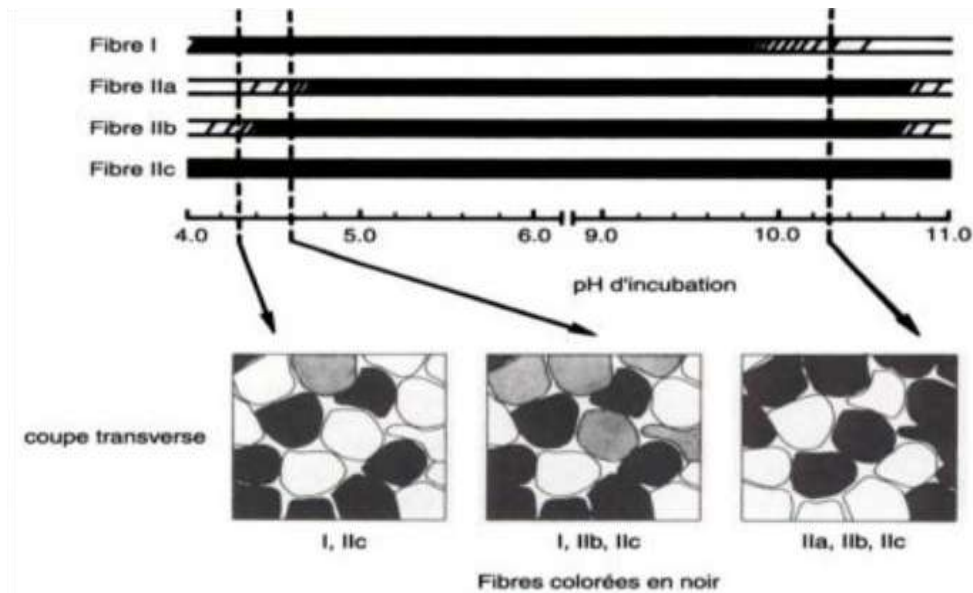


Figure 8 : représentation schématique de la technique d'identification des fibres musculaires par l'activité de la myosine ATPase (R. POORTMANS, BOISSEAU ; 2004)

Tableau 1 : caractéristiques des différents types de fibres musculaires (R. POORTMANS, BOISSEAU ; 2004)

	Type I	Type IIa	Type IIb
Profil	Lentes	Rapides	Rapides
Caractéristiques contractiles			
* vitesse de contraction	+	++	+++
* force de contraction	+	++	+++
* résistance à la fatigue	+++	++	+
Activité de la myosine ATPase			
* après pré-incubation à pH = 10,3	+	+++	+++
* après pré-incubation à pH = 4,6	+++	+	++
Potentiels métaboliques			
	Aérobies	Aéro/anaérobies	Anaérobies
* glycolyse	+	++	+++
* oxydation	+++	++	-
Contenu			
* glycogène	++	+++	+++
* triglycérides	+++	++	+
* mitochondries	+++	++	+
Vascularisation	+++	++	+

➤ *Contenu*

Une coloration par l'acide de Schiff permet d'évaluer de façon semi-quantitative le contenu en glycogène. Chez le cheval, il semble que les fibres de type I contiennent moins de glycogène que les fibres de type II.

Une coloration « red-oil » permet de mettre en évidence le contenu en triglycérides intramusculaires. Plus les fibres ont un métabolisme oxydatif plus elles sont riches en lipides : I>IIa>IIb.

Les fibres les plus oxydatives contiennent une plus grande quantité de mitochondries.

➤ *Vascularisation*

Les fibres ayant le plus grand potentiel oxydatif ont la vascularisation capillaire la plus développée par rapport à la surface qu'elles occupent.

I.B.1.a)(3)(c)Variation de la typologie musculaire

➤ *Localisation*

La composition en fibres musculaires varie d'un muscle à l'autre selon sa fonction mais également à l'intérieur de chaque muscle.

Par exemple, les muscles des antérieurs interviennent principalement dans la posture et sont composés surtout de fibres lentes de type I tandis que les muscles des postérieurs assurent plutôt la propulsion et contiennent plus de fibres rapides de type II.

Plusieurs études ont montré que la répartition des fibres musculaires varie à l'intérieur d'un muscle. Par exemple, beaucoup de muscles de la locomotion ont un grand nombre de fibres de type I et IIa en profondeur et de type IIb en périphérie. Ceci reflète la relation structure/fonction : les régions profondes interviennent plutôt dans la maintenance de la posture avec une activité musculaire faible mais longue tandis que les régions plus superficielles sont impliquées pour générer un travail de propulsion, rapide et puissant (RIVERO et PIERCY ; 2008).

En moyenne, les muscles de la locomotion sont composés d'environ 75 % de fibres de type II et 25 % de fibres de type I.

➤ *Génétique*

La sélection du cheval de course et de sport a principalement été conduite au profit de la vitesse et de la résistance par rapport à l'endurance. Le métabolisme énergétique du muscle s'oriente surtout sur la consommation du glycogène par voie anaérobie plutôt qu'aérobie et encore plus que l'oxydation des lipides obligatoirement aérobie. Ces aptitudes génétiques sont ainsi en rapport avec les proportions des différents types de fibres musculaires des muscles squelettiques striés (fibres IIb > IIa > I, WOLTER ; 1999).

Cependant, la typologie de certains muscles locomoteurs semble influencée par la race. Des études sur le muscle fessier moyen montre que les races de course tel que le Pur-Sang ou Quarter horse (WOLTER ; 1999) sont mieux pourvu en fibres rapides que les races endurantes tel que les chevaux de chasse par exemple, plus riches en fibres lentes (BARREY ; 1993).

➤ *Entraînement*

La typologie musculaire et la composition en myosine ATPase semblent relativement influencées par l'entraînement.

Des études sur des chevaux réalisant un travail d'endurance ont montré une augmentation de la proportion en fibres aéroanaérobies (IIa) au détriment des fibres purement anaérobies (IIb). De plus, si l'exercice d'endurance est suffisamment intense, il semblerait que la proportion en fibre IIc et I augmente par rapport aux fibres IIb et IIa. (RIVERO et PIERCY ; 2008). Il semblerait donc que l'ordre de transition des fibres musculaires se fait ainsi : IIb → IIa → IIc → I. Le muscle semble s'adapter à fournir un travail de puissance moyenne tout en étant moins fatigable.

En revanche, la proportion en fibres rapides (IIa et IIb) paraît peu influençable par l'entraînement ce qui indique que la capacité musculaire à fournir un effort de grande puissance a plutôt une origine génétique que l'aptitude à fournir un effort d'endurance.

I.B.1.b) Production d'énergie : les filières de synthèse de l'ATP

L'ATP est la source d'énergie directement utilisable par la cellule musculaire. Il est donc indispensable qu'elle soit produite proportionnellement aux besoins et il existe pour cela différents voies métaboliques qui fonctionnent simultanément de façon plus ou moins importante selon le type d'effort fourni : métabolisme aérobie ou métabolisme anaérobie. Nous allons détailler ces deux filières puis nous reviendrons sur les deux principaux substrats qu'elles mettent en jeu : les glucides et les lipides. Cette partie s'appuiera principalement sur des données obtenues dans les ouvrages de R.POORTMANS et BOISSEAU (2004), de HINCHCLIFF et al. (2008) et de MARLIN et NANKERVIS (2002).

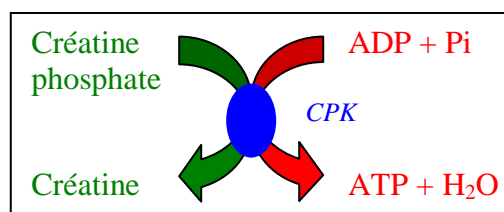
I.B.1.b)(1) Filière anaérobie

I.B.1.b)(1)(a) La voie anaérobie alactique

C'est la filière énergétique mise en place lors des **premières contractions musculaires** : elle intervient de façon précoce.

➤ *Réaction de la créatine phosphate*

Elle permet une **régénération immédiate** de l'ATP par l'intervention d'un composé: la phosphocréatine ; selon la réaction suivante :



Cette réaction est catalysée par une enzyme, la créatine-phosphokinase (CPK), qui sera un des paramètres suivis dans notre expérimentation.

Lorsque la concentration en ATP est plus élevée dans la cellule musculaire que celle en créatine, la réaction inverse (avec consommation d'énergie) se produit et permet de reconstituer le stock en créatine-phosphate.

➤ *Réaction de la myosine kinase*

Elle assure la formation d'ATP par transfert d'un radical phosphate provenant d'un ADP sur un autre par l'action de l'enzyme myosine kinase.



L'ADP étant issu des réserves d'ATP, ce processus ne permet qu'une faible synthèse d'ATP.

Ces voies sont indispensables pour des **contractions brèves et intenses**, mais les réserves en créatine-phosphate et ATP sont très **faibles**. Le renouvellement immédiat de l'ATP doit donc être assuré après les premières secondes de l'exercice.

I.B.1.b)(1)(b) La voie anaérobie lactique

➤ Les réactions

Il s'agit d'une voie anaérobie lactique (ou fermentation lactique) puisque le pyruvate obtenu par la glycolyse est transformé en lactate en même temps que les coenzymes sont réoxydées et ceci sans l'intervention de dioxygène. Cette réaction est catalysée par la lactate déshydrogénase (LDH), et est réversible.

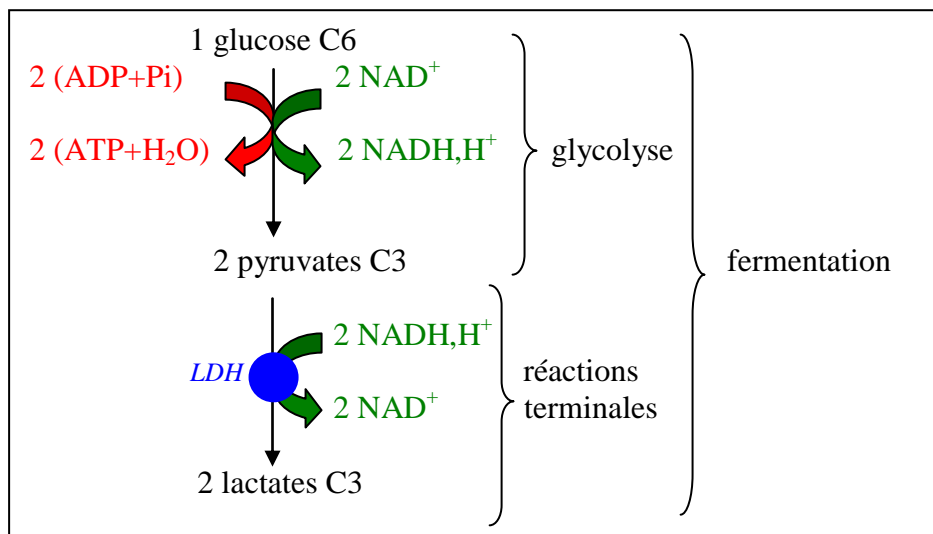


Figure 9 : Schéma bilan de la fermentation lactique (VALIERGUES ; 2003).

Cette filière peut débuter quelques instants après le début de l'exercice et est d'autant plus intense que la teneur du muscle en ATP est plus faible (VALIERGUES ; 2003). Elle va être privilégiée au début du travail le temps que la voie aérobie se mette en place, pour des efforts type sprint ou si l'effort demandé dépasse les capacités d'oxygénation de l'organisme.

➤ Devenir du lactate et conséquences de son accumulation

L'accumulation de l'acide lactique dans le muscle provoque une acidose qui inhibe l'activité des principales enzymes de la glycolyse et gêne le fonctionnement des protéines contractiles.

Lorsque le lactate s'accumule dans le muscle, il peut passer dans le sang, à environ 70%. Il est éliminé dans les urines en cas de lactatémie élevée, participe à la néoglucogénèse dans le foie, le rein et le muscle ou est utilisé comme source d'énergie après réoxydation en pyruvate dans le métabolisme aérobie du muscle. Le lactate est donc potentiellement source d'énergie et de toxicité (THIRIEZ, 2002).

L'accumulation de lactate dans le muscle semble être une des principales causes de la fatigue lors de l'exercice anaérobie. (RIVERO et PIERCY ; 2008). Certaines études ont montré que l'entraînement permettait de réduire la lactatémie ce qui suggère que cette voie métabolique serait moins sollicitée en réponse à l'exercice sur un cheval entraîné (MUNOZ et al. ; 2002) : l'entraînement aurait pour effet un ajustement plus rapide de la consommation d'oxygène au besoin énergétique de la puissance d'exercice (renouvellement de l'ATP par la phosphorylation oxydative).

I.B.1.b)(2) Filière aérobie

Comme son nom l'indique, cette voie nécessite de l'oxygène pour son fonctionnement. Elle sera donc privilégiée pour des efforts d'intensité moyenne et de durée plus longue que pour la filière anaérobie, un certain nombre d'adaptations étant nécessaire (fréquences cardiaque et respiratoire...) pour que l'oxygénation de l'organisme soit suffisante pour entretenir cette filière. Ce métabolisme est principalement limité par l'épuisement des réserves énergétiques et par la régulation thermique de l'organisme.

Dans une cellule musculaire, les mitochondries sont le lieu essentiel de la consommation d'oxygène. Cette consommation permet l'oxydation complète en CO₂ et H₂O de différents substrats organiques qui peuvent être glucidiques, lipidiques et protidiques. On distingue trois grandes phases localisées dans la mitochondrie :

- formation d'acétylcoenzyme A
- Dégradation des radicaux acétyles en CO₂ et H₂O par le cycle de Krebs qui produit des coenzymes réduites
- Phosphorylation oxydative : c'est la réoxydation des coenzymes réduites grâce à la consommation d'oxygène couplée à la synthèse d'ATP (VALIERGUES ; 2003).

I.B.1.b)(2)(a) Mécanismes

I.B.1.b)(2)(a)(i) Obtention d'acétylcoenzyme A

➤ Par oxydation des acides gras

La bêta-oxydation est la principale voie de dégradation des acides gras. Elle se déroule en plusieurs étapes : activation de l'acide gras, pénétration dans la mitochondrie avec intervention d'une molécule de **carnitine** et oxydation.

La dégradation complète de l'acide gras (exemple : acide gras saturé à nombre pair de carbones) se produit jusqu'à ce que la chaîne carbonée soit complètement découpée en molécules d'acétylcoenzymes A : c'est l'hélice de Lynen.

Lors d'un tour d'hélice de Lynen, il y a formation de coenzymes réduites NADH, H⁺ et FADH₂ qui seront réoxydées au cours de la phosphorylation oxydative.

Remarque : la bêta-oxydation trop rapide d'une trop grande quantité d'acides gras produit une grande quantité d'acétylCoA. L'acétylCoA est prioritairement utilisé par le cycle de Krebs, mais lorsque ce dernier sature, l'excédent subit la cétogenèse c'est-à-dire la transformation en corps cétoniques. Les trois corps cétoniques sont : acétoacétate, bêta-hydroxybutyrate et acétoacétone. Les deux premiers ne sont pas proprement des cétones, mais ils sont produits à partir de cétones. Les corps cétoniques sont produits par le foie et utilisés principalement par les muscles et le cerveau : la cétogenèse permet au final de transporter l'acétylCoA du foie vers les muscles ou le cerveau par l'intermédiaire des corps cétoniques.

Le bêta-hydroxybutyrate est un des paramètres sanguins qui sera analysé au cours de l'expérimentation (cf. partie expérimentale).

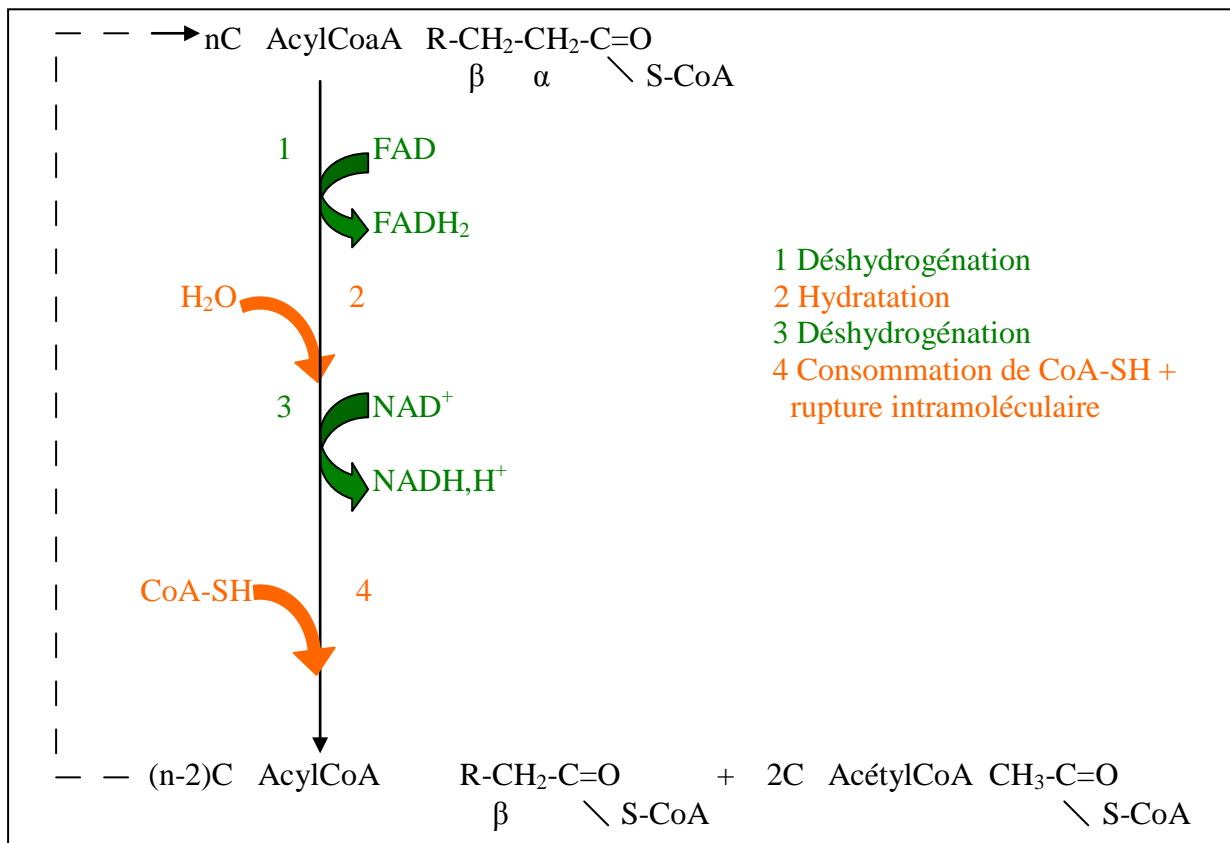


Figure 10 : Schéma bilan de la bêta-oxydation (VALIERGUES ; 2003).

- Bilan de la bêta-oxydation

Pour un acide gras à n carbonnes :

- (n/2 - 1) tours de spires d'hélice de Lynen
- (n/2 - 1) NADH, H⁺
- (n/2 - 1) FADH₂
- (n/2) AcétylCoA
- 1 AMP
- 2 P_i
- 1 ATP (activation de l'acide gras).

Pour l'acide hexanoïque en C₆ (H₃C-(CH₂)₄-COOH) :

- 2 NADH, H⁺
- 2 FADH₂
- 3 AcétylCoA
- 1 AMP
- 2 P_i
- 1 ATP (activation de l'acide gras).

➤ *Par la glycolyse*

La glycolyse permet à partir d'une molécule de glucose la production d'acide pyruvique qui est transformé en présence d'oxygène en acétylcoenzyme A par la décarboxylation oxydative. Elle a lieu dans le cytoplasme de la cellule.

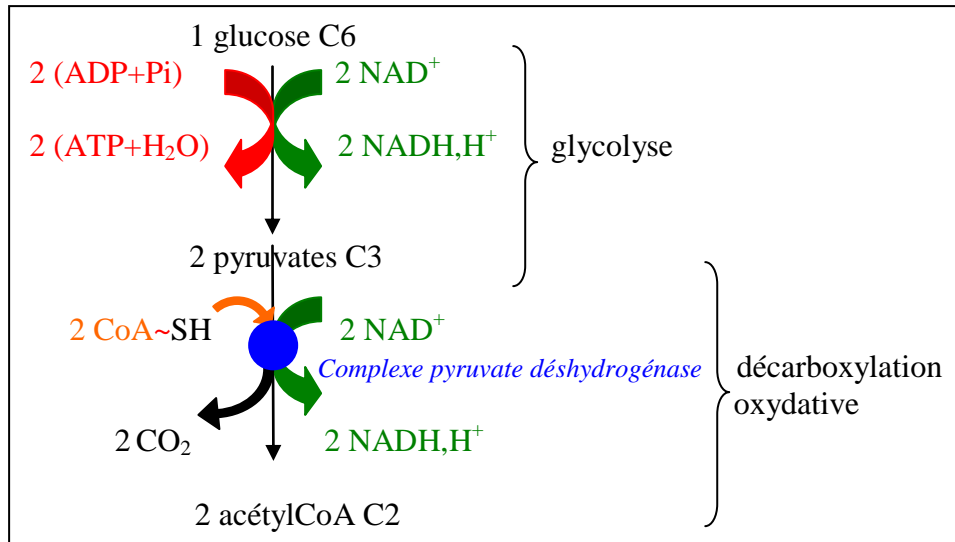


Figure 11 : Schéma bilan glycolyse et décarboxylation oxydative (VALIERGUES ; 2003).

Les NADH,H⁺ produites pourront être réoxydées lors de la phosphorylation oxydative.

➤ *Par désamination oxydative des acides aminés*

Certains acides aminés, en excès par rapport à la synthèse protéique et ne pouvant être stockés, peuvent subir un catabolisme oxydatif qui s'accompagne d'une désamination et permet d'obtenir du pyruvate. Celui-ci peut être transformé en acétylcoenzyme A dans la matrice et le NH₃ est libéré hors de la cellule puis peut être évacué de l'organisme (NH₃, urée, acide urique). D'autres acides aminés sont transformés en acétylcoenzyme A directement dans la matrice mitochondriale sans passer par l'acide pyruvique.

I.B.1.b(2)(a)(ii) Le cycle de Krebs

➤ *Les réactions du cycle de Krebs*

Le cycle de Krebs est une série de réactions biochimiques ayant pour but la production de composés intermédiaires énergétiques qui permettront la synthèse d'ATP dans la chaîne respiratoire. Il se déroule dans la mitochondrie, en **aérobiose** et constitue le point final du catabolisme des glucides, des lipides et des acides aminés car ces trois catabolismes aboutissent à la formation d'acétylcoenzyme A. La première étape du cycle permet de transférer le groupement acétyle sur l'acide oxaloacétique pour former du citrate. La suite du cycle consiste en des transformations catalysées avec possibilités de réactions d'échappement qui permettent d'utiliser les intermédiaires pour d'autres fonctions cellulaires. Les coenzymes NADH,H⁺ et FADH₂ produites par le cycle peuvent être réoxydées au niveau de la chaîne respiratoire ce qui assure également une synthèse d'ATP.

➤ *Bilan du cycle de Krebs*

A partir d'une molécule d'acétylcoenzyme A, sont produits :

- 2 CO₂
- 3 NADH, H⁺
- 1 FADH₂
- 1 GTP
- 1 coenzyme A

I.B.1.b(2)(a)(iii) La phosphorylation oxydative

➤ *Principe*

La phosphorylation oxydative, aussi nommée chaîne respiratoire, est constituée d'un ensemble complexe de protéines membranaires de la mitochondrie qui servent à réoxyder les coenzymes NADH, H⁺ et FADH₂ qui ont été réduites en particulier au cours du cycle de Krebs. Ces coenzymes cèdent leurs deux électrons à un système de transporteurs qui, par une cascade de réactions d'oxydoréduction, amène ces électrons jusqu'à l'accepteur final, l'**oxygène** moléculaire (couple $\frac{1}{2} \text{O}_2 / \text{O}^{2-}$). Au cours de ce transfert électronique, il y a formation d'un gradient de protons de part et d'autre de la membrane interne de la mitochondrie, ce qui permet la synthèse d'ATP lors d'une réaction catalysée par l'ATP synthase mitochondriale.

➤ *Bilan de la phosphorylation oxydative*

Au cours de l'oxydation de 1 NADH, H⁺, on obtient :

- 3 ATP
- 1 H₂O
- 1 NAD⁺

Au cours de l'oxydation de 1 FADH₂, on obtient :

- 2 ATP
- 1 H₂O
- 1 FAD

I.B.1.b(2)(a)(iv) Bilan énergétique de la voie aérobie

➤ *A partir du glucose*

Depuis les réactions de la glycolyse jusqu'à la synthèse d'ATP par l'ATP synthase, on obtient 38 molécules d'ATP à partir d'une molécule de glucose.

➤ *A partir d'un acide gras*

Depuis la bêta-oxydation de l'acide gras (ici prenons l'acide hexanoïque à même nombre de carbones que le glucose) jusqu'à la synthèse d'ATP par l'ATP synthase, on obtient 45 molécules d'ATP.

A nombre égal de carbone, un acide gras est plus énergétique qu'un ose. Les molécules d'ATP produites sont à l'intérieur de la mitochondrie. Leur exportation nécessite de l'énergie ce qui diminue le rendement.

I.B.1.b)(2)(b) Paramètres remarquables du métabolisme aérobie

La capacité du système aérobie à produire une grande quantité d'énergie afin de reconstituer l'ATP est dépendante de l'efficacité de l'oxydation mitochondriale, mais également de la capacité à amener une grande quantité d'oxygène au niveau musculaire dans les mitochondries. Nous allons maintenant détailler la consommation d'oxygène et en quoi certains paramètres peuvent nous renseigner sur le métabolisme aérobie.

➤ *Consommation d'oxygène*

La consommation d'oxygène est appelée VO_2 : elle reflète le niveau du métabolisme aérobie de l'organisme. Elle peut s'exprimer en litres d'oxygène consommés par unité de temps (rapportés ou non au poids corporel) ou en joules sachant qu'un litre d'oxygène équivaut à 21 kJ (ART et al ; 2000 (a)).

Au repos, VO_2 permet une estimation du métabolisme basal. Chez le cheval, on trouve des valeurs de l'ordre de 3 à 5 mL/kg/min quelque soit la discipline pratiquée (EATON ; 1994).

A l'exercice, la consommation d'oxygène est **directement proportionnelle à l'intensité du travail** (avec un effort constant d'intensité sous-maximale). Sa mesure permet de **connaître le coût énergétique** de l'activité sportive réalisée.

➤ *VO_{2max}*

La capacité énergétique du muscle squelettique est si importante qu'elle dépasse la capacité des systèmes respiratoires et cardiovasculaires à délivrer de l'oxygène. Ainsi, VO_{2max} représente la consommation maximale d'oxygène possible compte tenu des fonctions cardiorespiratoires, celles-ci étant dépassées par la capacité des enzymes oxydatives mitochondriales à utiliser l'oxygène (POOLE et ERICKSON ; 2008).

Si l'exercice se poursuit au-delà de VO_{2max} alors l'énergie nécessaire est fournie par les filières anaérobies : on parle d'exercice supra-maximal. Il devient alors pénible et ne peut être maintenu que pendant un temps limité.

Inversement, si l'exercice se déroule en deçà de VO_{2max} alors l'énergie est principalement fournie par les filières aérobie : on parle d'exercice sous-maximal.

On trouve des valeurs de VO_{2max} de l'ordre de 100 à 135 mL/kg/min pour un cheval non entraîné (ART et al ; 2000) et **140 à 190 mL/kg/min** chez les chevaux athlètes (EVANS et ROSE ; 1987) sans, a priori, de différence significative selon la discipline pratiquée. L'entraînement permettrait d'augmenter la VO_{2max} .

VO_{2max} dépend de la capacité de transport de l'oxygène et du potentiel d'extraction au niveau du muscle :

$$VO_{2max} = Qc \times (A_{O_2} - V_{O_2})$$

Qc : débit cardiaque

$A_{O_2} - V_{O_2}$: différence artérioveineuse en O_2 (correspond à l'extraction de l'oxygène au niveau du muscle).

VO_{2max} représente donc une mesure globale des facteurs cardiaques et métaboliques qui modulent la capacité de l'organisme à absorber de l'oxygène, à le transporter et à l'utiliser.

➤ *Le quotient respiratoire*

Si l'on mesure la quantité d'O₂ dépensée et la quantité de CO₂ produite, on connaîtra le type de substrat utilisé de façon prioritaire. Aussi, le quotient respiratoire (QR) est donné selon :

$$QR = VCO_2 / VO_2$$

L'oxydation des glucides consomme autant d'oxygène qu'elle ne rejette de CO₂ : le QR est donc égal à 1. L'oxydation des lipides consomme plus d'oxygène qu'elle ne rejette de CO₂ : le QR se situe entre 0.7 et 0.8 selon l'acide gras. Ainsi, le choix du substrat consommé peut être apprécié par la lecture du QR (LE GALLAIS et MILLET ; 2007).

I.B.1.b)(3) Bilan : part respective des différents processus énergétiques au cours de l'exercice

Au début de l'exercice, les réserves de la filière anaérobie alactique (ATP et phosphocréatine) sont consommées très rapidement puis l'énergie est fournie par la glycolyse anaérobie entraînant la formation d'acide lactique. Les mécanismes de la filière aérobie se mettent ensuite en route et prennent progressivement le relais puis assurent l'essentiel de la production d'énergie si l'effort se prolonge (Figure 12).

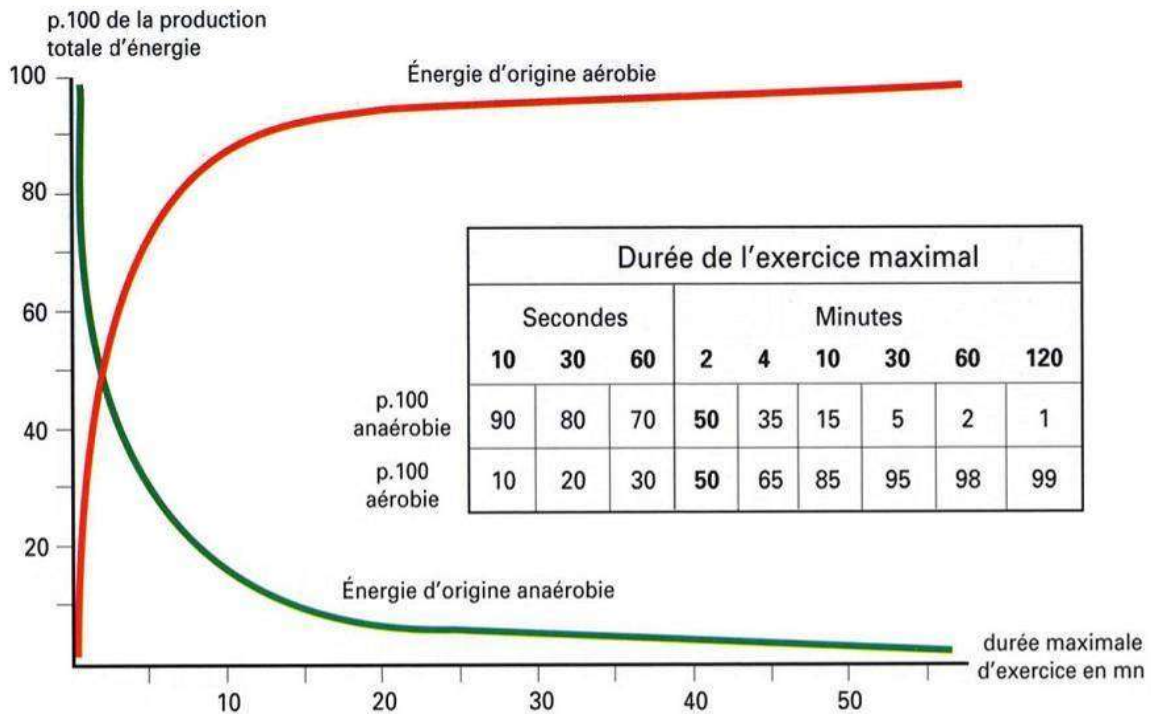


Figure 12 : Importance des métabolismes aérobie et anaérobie dans la production d'énergie en fonction de la durée de l'exercice (WOLTER ; 1999)

I.B.1.c) Les carburants énergétiques pour le travail musculaire

Ils participent à l'apport d'énergie et notamment par la production d'ATP disponible par la suite pour le fonctionnement cellulaire. Ces carburants sont principalement représentés par les glucides et les lipides (potentiellement par les protéines, mais ce sujet ne sera pas plus détaillé) et nous allons maintenant voir comment ceux-ci sont mis à disposition des cellules.

I.B.1.c)(1)Les glucides

I.B.1.c)(1)(a)Sources

Les glucides ou carbohydrates sont disponibles pour la contraction musculaire à partir des stocks de glycogène hépatique et musculaire et du glucose sanguin (issu de l'absorption intestinale, de la glycogénolyse hépatique ou de la néoglucogenèse). La mobilisation de ces réserves dépend de l'intensité et de la durée de l'effort et peut constituer un facteur limitant du bon déroulement de l'exercice. La Figure 13 montre les différentes sources de glucose pour le métabolisme énergétique glucidique dans le muscle à l'exercice.

➤ *Glycogène hépatique*

Il représente une réserve modeste, disponible pour partie, couvrant une dépense énergétique d'une course d'environ 20 à 30 minute (WOLTER ; 1991). Le contenu du foie en glycogène varie selon l'alimentation : un jeûne d'une journée diminue la concentration en glycogène alors qu'un régime riche en glucides augmente le stock.

➤ *Glycogène musculaire*

Le stockage est beaucoup plus important quantitativement que dans le foie : 2% du poids des muscles chez un cheval. Les réserves peuvent être évaluées grâce à la réalisation de biopsies musculaires.

➤ *Glucose sanguin*

L'utilisation du glucose sanguin par le muscle augmente avec l'intensité et la durée de l'effort. Ainsi, au repos, les glucides utilisés par le muscle ont pour origine le glucose sanguin à hauteur de 10%. Au cours d'un exercice submaximal prolongé, le glucose sanguin peut représenter jusqu'à 75% des glucides utilisés (FELIG et WARHEN ; 1975).

I.B.1.c)(1)(b)Métabolisme glucidique

Le glycogène musculaire constitue la première source de glucides métabolisés au cours de l'exercice. Lorsque l'effort est prolongé et que la déplétion en glycogène musculaire est avancée, la glycogénolyse hépatique assure une glycémie constante et ainsi l'apport de glucides aux muscles via le sang. De même, lorsque le stock en glycogène hépatique diminue progressivement, la néoglucogenèse augmente avec la poursuite de l'exercice et assure la production hépatique de glucose.

Cependant, la capacité de néoglucogenèse hépatique reste limitée pour maintenir une glycémie correcte une fois que les réserves en glycogène hépatique sont épuisées. A la fin d'un exercice prolongé d'intensité modérée, une baisse de la glycémie, peut être observée. Si l'effort devait être poursuivi, la glycémie serait un facteur limitant puisqu'une glycémie normale est indispensable pour le bon fonctionnement des centres nerveux, et dans ce cas, comme chez le marathonien, des signes neurologiques pourraient y être associés.

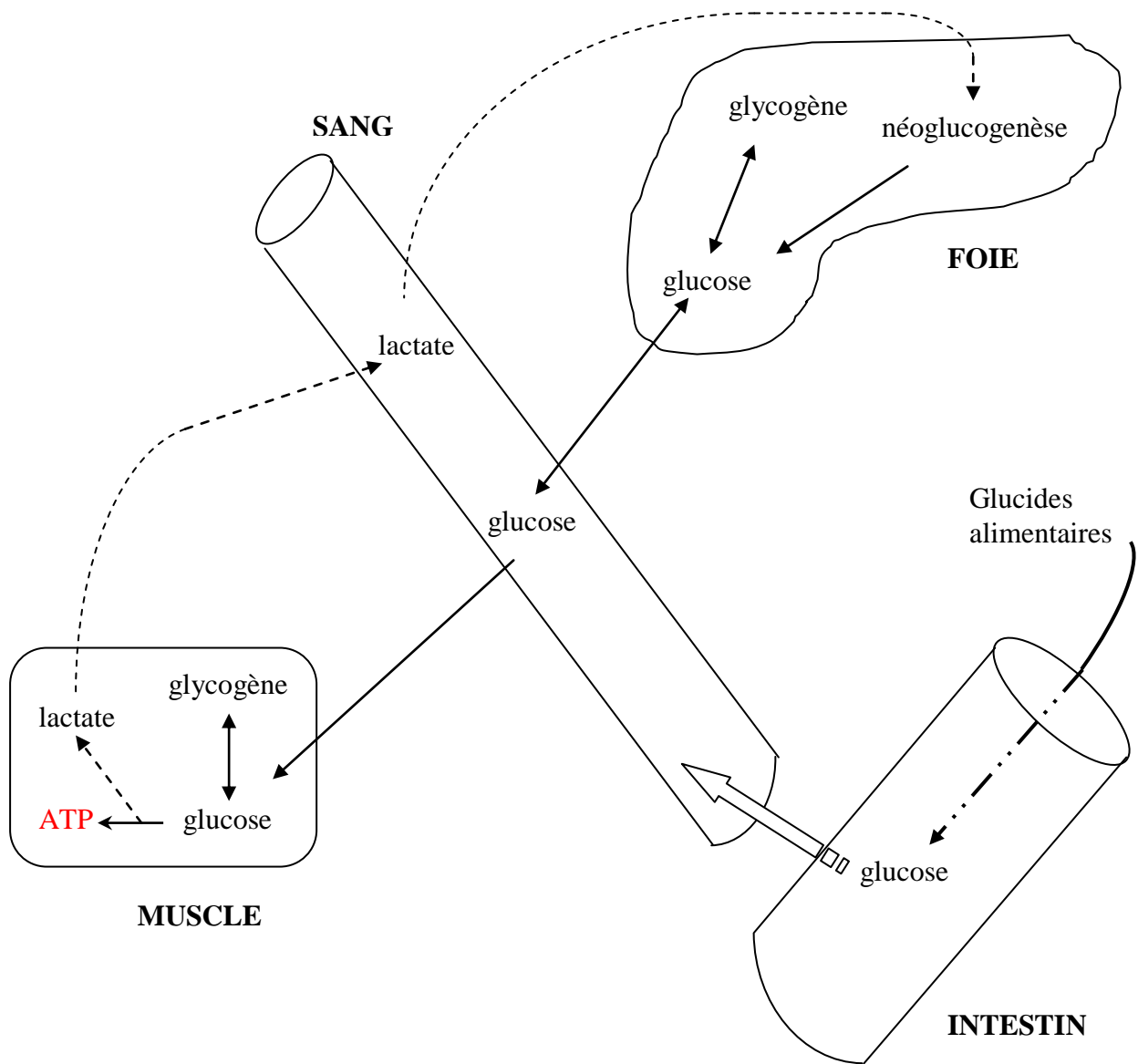


Figure 13 : Source de glucose pour le métabolisme énergétique glucidique dans le muscle à l'exercice (illustration personnelle).

Nous verrons dans la 2^{ème} partie comment l'apport de glucides peut être assuré et comment on peut tenter de l'ajuster. En effet, puisque le glycogène est un facteur limitant de l'effort, il est important de pouvoir assurer au cheval le meilleur apport de glucides pour que son stock de glycogène soit optimal avant toute compétition et pour que celui-ci soit ensuite reconstitué dans les plus brefs délais.

I.B.1.c)(2)Les lipides

I.B.1.c)(2)(a)Sources

Les lipides représentent la source d'énergie de l'organisme la plus importante quantitativement. Ils peuvent être métabolisés dans le muscle sous trois formes : les triglycérides stockés dans les cellules musculaires, les triglycérides plasmatiques d'origine alimentaire (chylomicrons) ou hépatique (Very Low Density Lipoprotein) et les acides gras libres (AGL) circulants provenant des adipocytes. La Figure 14 représente les différentes sources d'acides gras disponibles pour l'oxydation dans le muscle à l'exercice.

I.B.1.c)(2)(b)Métabolisme lipidique

Les acides gras libres proviennent du tissu adipeux : ils sont libérés par lipolyse des triglycérides qui représentent une forme de stockage obtenue par estérification d'acides gras avec du glycérol. Ils sont transportés dans le sang liés à l'albumine et acheminés jusqu'au muscle.

Les triglycérides musculaires subissent également la lipolyse et les acides gras obtenus peuvent être ensuite oxydés.

Les triglycérides présents dans les chylomicrons ou les VLDL peuvent libérer après intervention de la lipoprotéine lipase des acides gras qui sont ensuite intégrés dans le métabolisme oxydatif du muscle.

Nous aborderons dans la 2^{ème} partie la question de l'apport des lipides et de son ajustement. Nous verrons également les avantages tant sur le plan digestif que sur le plan énergétique qu'ils offrent.

I.B.1.c)(3)Effet des régimes et de l'entraînement

➤ Effet des régimes

L'apport des glucides et des lipides ainsi que les effets d'une supplémentation seront abordés dans la partie II.

➤ Entraînement

Les effets de l'entraînement sur la typologie musculaire ont été abordés précédemment. Les fibres musculaires sont caractérisées par un métabolisme énergétique spécifique. Si leur proportion varie, les carburants énergétiques intervenant varient également.

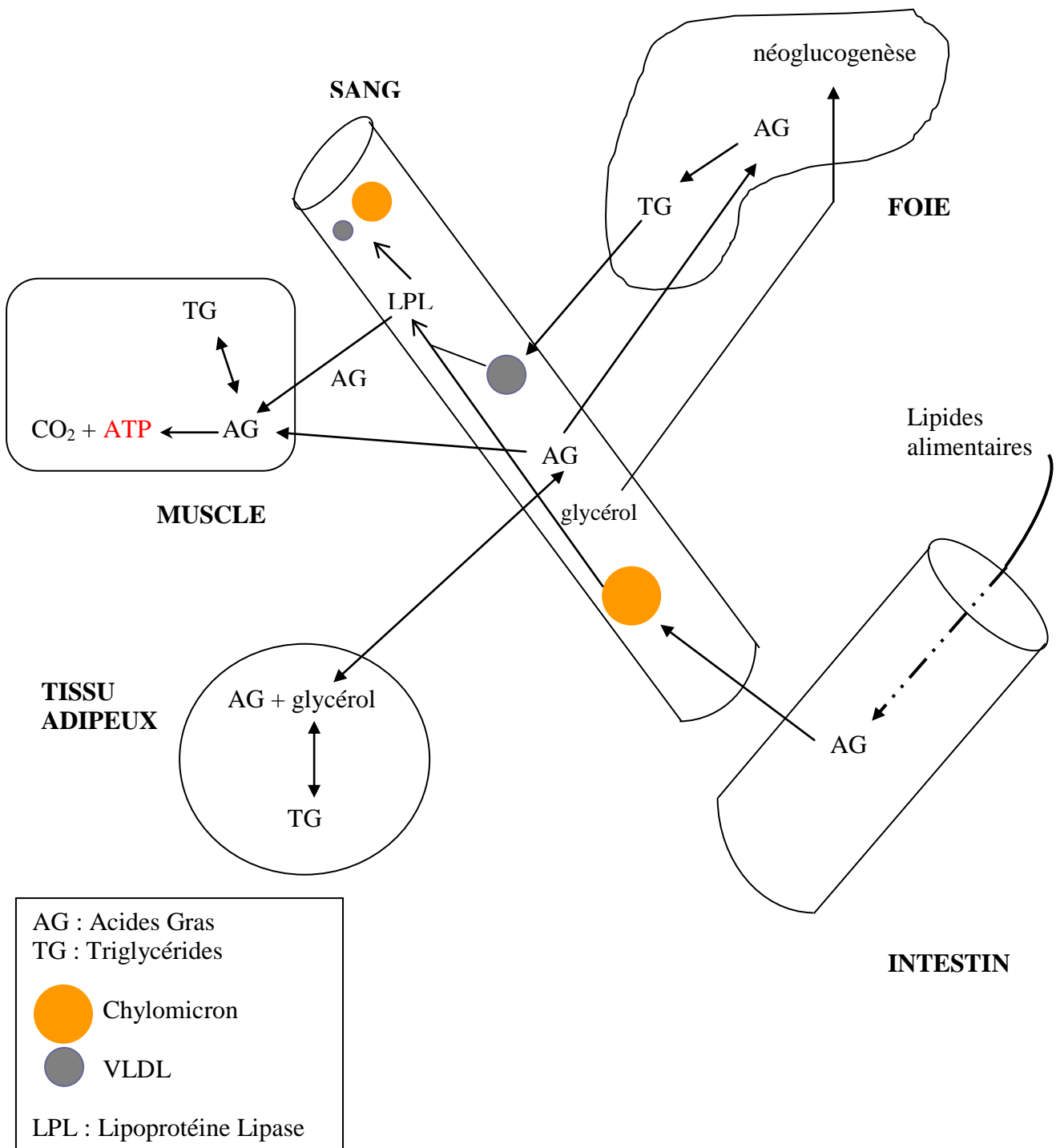


Figure 14 : Sources d'acides gras pour l'oxydation dans le muscle à l'exercice (LAWRENCE ; 1990)

I.B.1.d) Bilan : mobilisation des différents carburants énergétiques pour le travail musculaire selon le type d'effort

Le type d'effort se caractérise par son intensité et sa durée.

L'intensité est souvent traduite en termes de vitesse ou en temps au km mais il ne faut pas négliger la partie physiologique (cinétique de la fréquence cardiaque, taux sanguin d'acide lactique).

La durée de l'effort caractérise bien la nature du travail imposé :

- puissance : notamment en CSO
- vitesse : ou sprint court comme en course de Quarter horse, polo...
- résistance : ou sprint long correspondant à la spécialité des chevaux de course (1600 à 4000 mètres).
- endurance : sur 50 ou 80 km par jour.

Le type d'effort suscite des modifications hormonales qui orientent les réactions métaboliques majeures et donc influencent les besoins nutritionnels.

Dans le cadre d'un travail de la recherche chez le cheval, on pourrait avoir une idée des métabolites consommés en suivant la VO_2 et le quotient respiratoire. Chez l'homme, la détermination de l'utilisation spécifique des substrats à l'exercice est mieux connue (BOISSEAU ; 2005).

➤ *Effort très bref et brutal*

Lors de ce type d'effort, le muscle consomme immédiatement les réserves d'ATP et de phosphocréatine (par voie anaérobie) qui sont reconstituées par glycolyse intense à partir du glycogène, avec surproduction d'acide lactique (WOLTER ; 1999). Les principales modifications qui s'ensuivent sont une forte acidose lactique intramusculaire puis une acidose sanguine pouvant être responsable de divers effets néfastes et un hypercatabolisme azoté.

➤ *Sprint long*

L'anaérobiose domine surtout en début d'épreuve et après 3-4 minutes de course classique, le cheval travaillerait en équilibre aéro-anaérobie. Même dans ce type d'effort, les acides gras fourniraient près de 15% de l'énergie.

➤ *Epreuve d'endurance*

Au cours d'une épreuve d'endurance, le cheval travaille en aérobie après quelques minutes d'effort. Les acides gras longs dérivés de la lipolyse périphérique deviennent une source d'énergie croissante avec l'exercice physique. A l'inverse le glycogène hépatique et musculaire s'épuise progressivement ce qui constitue un seuil pour les hautes performances. Le troisième point limitant la continuation du travail intense est la déshydratation qui induit des troubles circulatoires entravant l'oxygénation tissulaire, la détoxification et le métabolisme énergétique (WOLTER, 1999) associée aux pertes électrolytiques dues à la sudation et induisant des problèmes de fonctionnement cellulaire... (cf. partie B.2.f)

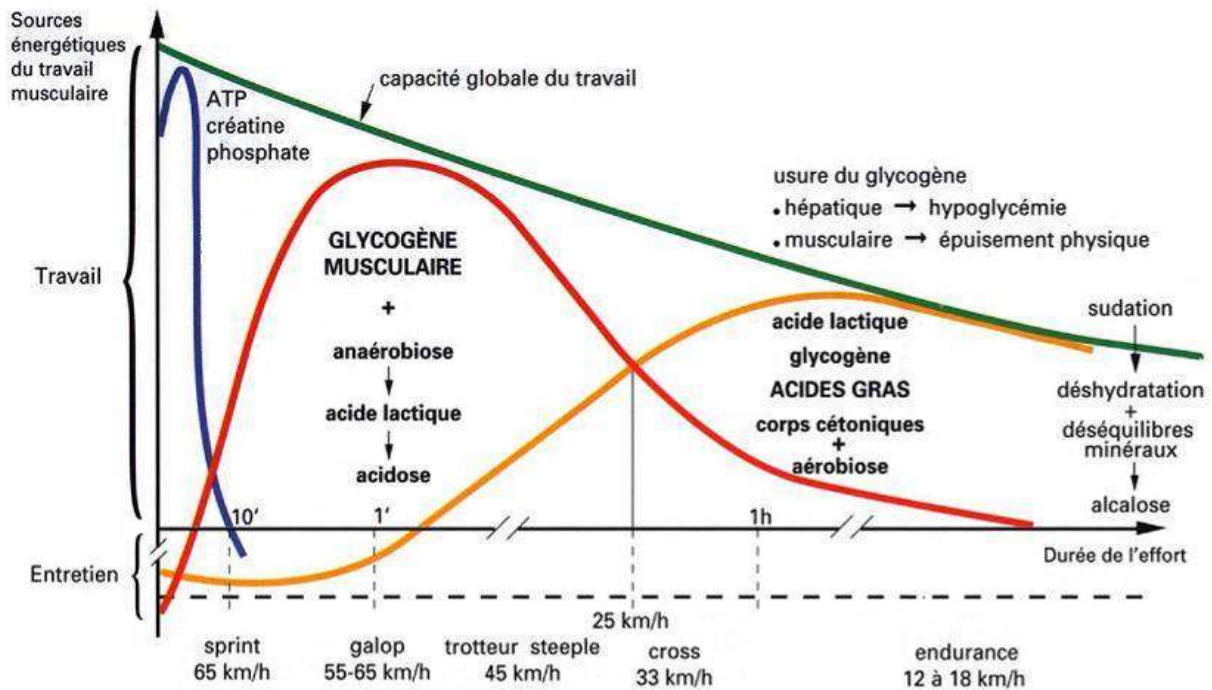


Figure 15: les différents carburants énergétiques pour le travail musculaire en fonction de l'effort (WOLTER ; 1999)

➤ *Nature des efforts pendant l'épreuve de fond d'un CCE*

La mesure de la fréquence cardiaque lors du parcours de cross (phase D uniquement) montre une élévation très rapide suivie d'un plateau lentement ascendant, les pics maximum étant très élevés entre 190 et 220 battements par minute (bpm).

Certaines études retranscrivent les mesures de la lactatémie avant, pendant et après l'épreuve. Au repos, les valeurs sont toujours basses. Après le cross les valeurs sont élevées et varient avec une valeur moyenne de 10.7 mmol/L pour Goupil (1990) (prélèvement 3 minutes après le cross) ou 8.16 mmol/L pour Rose et al. (1980) (prélèvements 30 secondes après le cross) sur un CCE Combiné.

La Figure 16 montre un exemple de tracé de fréquence cardiaque lors du cross. La lactatémie avant et après le cross est également donnée : 0.87 mmol/L et 7.93 mmol/L. (GOUPIL ; 1990)

Ainsi, au cours du cross, le cheval effectue des efforts qui sollicitent fortement les trois filières énergétiques : aérobie (lactatémie < 2mmol/L), aéro-anaérobie (2 mmol/L < lactatémie < 4mmol/L) et anaérobie (lactatémie > 4 mmol/L).

Lors de chaque saut d'obstacle, l'intensité du mouvement et sa rapidité d'action nécessitent un apport d'énergie de la part de la filière anaérobie alactique et l'intervention des fibres de type IIb à contractions rapides assurant des forces élevées sur une courte période.

L'existence d'une lactatémie élevée de l'ordre de 8-10 mmol/L en fin de parcours, supérieure au seuil anaérobie de 4 mmol/L, indique une participation de la filière anaérobie lactique et la mise en jeu des fibres de type IIa à contractions rapides mais aéro-anaérobies.

Enfin, la durée du cross avec une fréquence cardiaque très élevée implique que la filière aérobie tient une place importante avec mise en jeu des fibres de type I à contractions lentes mais pouvant se contracter un grand nombre de fois avec une force modérée.

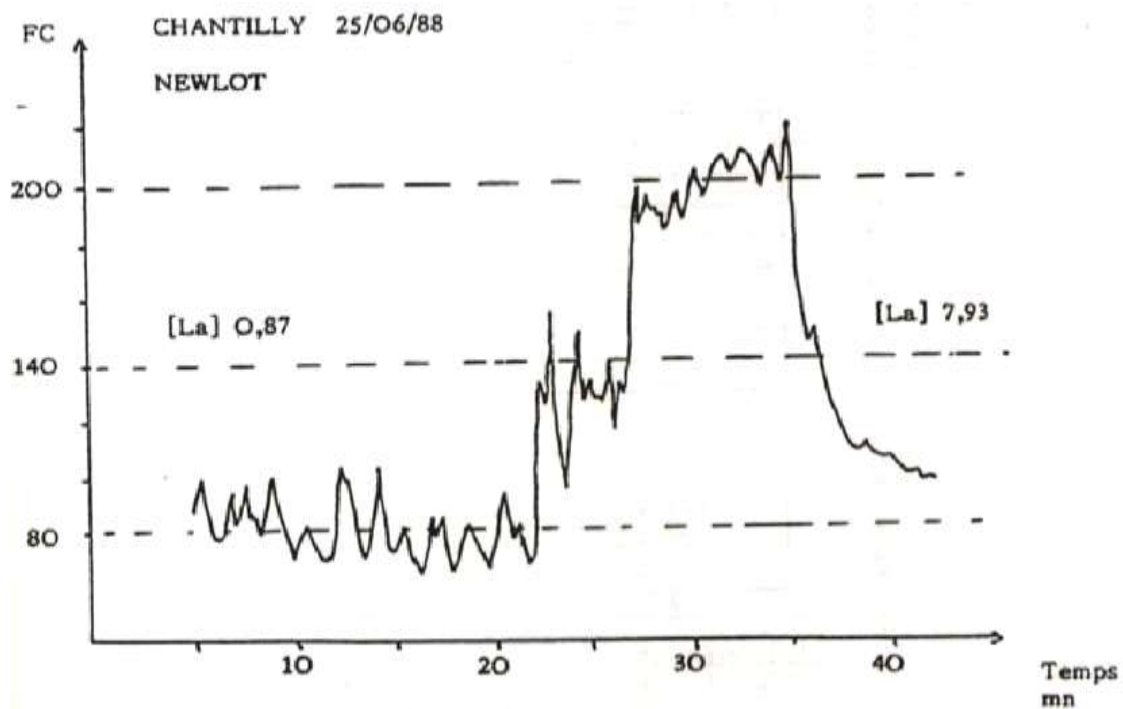


Figure 16 : Tracé de la fréquence cardiaque et valeurs de la lactatémie en début et fin d'épreuve chez Newlot lors d'une épreuve de fond simple à Chantilly (GOUPIL ; 1990).

L'essentiel :

* L'effort lors d'un CCE et notamment lors du cross est mixte avec intervention des filières aérobie et anaérobie et mise en jeu des différents types de fibres musculaires. Il est corrélé à des besoins énergétiques importants qui peuvent être couverts par certains substrats avec en tête de file les glucides et les lipides.

* La nutrition va jouer un rôle essentiel dans l'apport de ces éléments énergétiques : les glucides et les lipides utilisés pour la synthèse d'ATP sont stockés dans l'organisme mais leur utilisation doit être compensée via l'alimentation.

* L'entraînement prend une place également considérable puisqu'il modifie entre autre la typologie musculaire ainsi que la $VO_2\max$ et par conséquent la part relative des différents métabolismes énergétiques pour un même effort (la filière aérobie fournissant l'énergie pour un exercice sous maximal).

I.B.2.La thermorégulation

La production d'énergie indispensable à la contraction musculaire s'accompagne d'une production de chaleur inévitable. Cette dernière impose que l'organisme dispose de moyens de thermorégulation pour dissiper cette chaleur néfaste à la poursuite de l'effort sportif. Cependant, la thermorégulation induit des conséquences (pertes hydro-électrolytiques) non négligeables qu'il faut savoir prendre en compte pour continuer un effort dans de bonnes conditions.

I.B.2.a) Définition

La thermorégulation est le mécanisme qui permet à un organisme homéotherme de conserver une température interne constante (entre 37-38°C pour la température rectale normale du cheval adulte). Elle comprend deux phénomènes : la thermolyse et la thermogénèse. Si le système thermorégulateur est dépassé ou déficient, le cheval s'expose à l'apparition d'une hyperthermie qui peut mettre en jeu son pronostic vital si l'exercice perdure.

➤ *Origine de la production de chaleur*

L'activité musculaire et l'activité de digestion contribuent significativement à la production de chaleur corporelle. Dans le cadre de la contraction musculaire chez le cheval, le rendement de l'utilisation d'ATP est d'environ 20 % ce qui signifie que **20 % de l'énergie dégradée au départ est transformée en travail mécanique et 80 % en chaleur.**

➤ *Origine des pertes de chaleur*

Plusieurs moyens physiques assurent un échange de chaleur entre le cheval et son environnement : l'évaporation - étant dans la majorité des circonstances environnementales et climatiques non extrêmes, la plus importante - la radiation, la convection et la conduction.

La température corporelle résulte donc de la balance entre la chaleur gagnée (production lors de l'exercice physique, température ambiante) et de la chaleur perdue (dans l'environnement par divers moyens) (HINCHCLIFF ; 1998).

Température corporelle = Tmétabolisme – (± Tconduction ± Tconvection ± Tradiation ± Tévaporation)

La valeur de la production de chaleur métabolique (Tmétabolisme) peut être estimée de la façon suivante :

$$\text{Tmétabolisme (kJ/min)} = \text{VO}_2 \times \text{K} \times 0.8 \times \text{poids vif (kg)}$$

K est l'énergie libérée par unité d'oxygène utilisée pour le métabolisme (21 KJ/min) et 0.8 la fraction d'énergie relâchée sous forme de chaleur (MARLIN et al ; 2002). Au repos, un cheval de 500 kg utiliserait environ 2 litres d'oxygène par minute et aurait donc une production de chaleur métabolique de :

$$\text{Tm} = 2 \text{ (litres/min)} \times 21 \text{ (KJ/min)} \times 0.8 = 33.6 \text{ KJ/min (67.2 J/kg/min)}.$$

Lors d'un exercice au trot à environ 210 m/min, le taux d'oxygène utilisé est 10 fois supérieur et donc la production de chaleur est 10 fois plus importante qu'au repos. Si le cheval est au galop, VO₂ peut atteindre 80 litres/min et la production de chaleur peut être 40 fois supérieure à celle au repos (MARLIN ; 2008).

I.B.2.b)Les moyens

La chaleur peut être échangée entre le cheval et l'environnement par quatre moyens (MARLIN et al ; 2002).

I.B.2.b)(1)Radiation

Il s'agit d'un mouvement de chaleur entre deux objets sans contact physique. C'est le cas par exemple des radiations solaires dont nous pouvons sentir les effets sans être en contact direct avec le soleil (ce qui explique qu'on a plus chaud au soleil qu'à l'ombre). De même, le cheval peut perdre de la chaleur par radiation avec les objets environnants plus frais (comme avec un mur en pierre froid). Les radiations peuvent être reflétées ou absorbées selon les surfaces. Ce mécanisme joue un rôle secondaire dans la perte de chaleur à l'effort.

I.B.2.b)(2)Convection

La convection correspond à un mouvement de chaleur dans un « fluide » au sens liquide ou gazeux. Le transfert de chaleur par convection s'effectue entre le cheval et l'air à la surface de la peau. La chaleur est perdue si un mouvement d'air frais vient au contact de l'air chaud à la surface du corps. La convection décrit aussi les mouvements de chaleur dans le système sanguin et ainsi la répartition de chaleur produite par le métabolisme (musculaire pour le cheval à l'effort) à l'ensemble de l'organisme. Elle tient une place plus importante dans la dissipation de chaleur chez le cheval à l'effort que la radiation ou la conduction (surtout lors de conditions climatiques fraîches et ventées).

I.B.2.b)(3)Conduction

C'est un transfert direct de chaleur entre des surfaces qui sont en contact. L'air a une faible conductivité thermique. Aussi, le cheval peut perdre de la chaleur par contact avec un sol froid via les pieds ou alors si on le mouille avec de l'eau plus froide que lui. La conduction joue un rôle principal dans le transfert de la chaleur produite par le muscle vers la peau et l'appareil respiratoire.

I.B.2.b)(4)Evaporation

L'évaporation est le passage progressif d'un état liquide à un état gazeux. Dans le cas du cheval, le liquide qui s'évapore correspond à la couche de sueur sur la peau. Le point important est que ce n'est pas transpirer qui fait perdre de la chaleur mais la transformation de la sueur en vapeur. Contrairement à d'autres mammifères (chien, chat, cochon...) le cheval à l'exercice régule principalement (jusqu'à 65 %) sa température corporelle par transpiration (évaporation de chaleur et élimination par la peau...) plutôt que par halètement (les pertes de chaleur par le système respiratoire sont estimées entre 15 et 25%) (GUTHRIE et LUND ; 1998). La sudation prend une place d'autant plus importante dans la thermorégulation que les glandes sudoripares sont situées sur l'ensemble du corps contrairement à d'autres espèces telles que le chien.

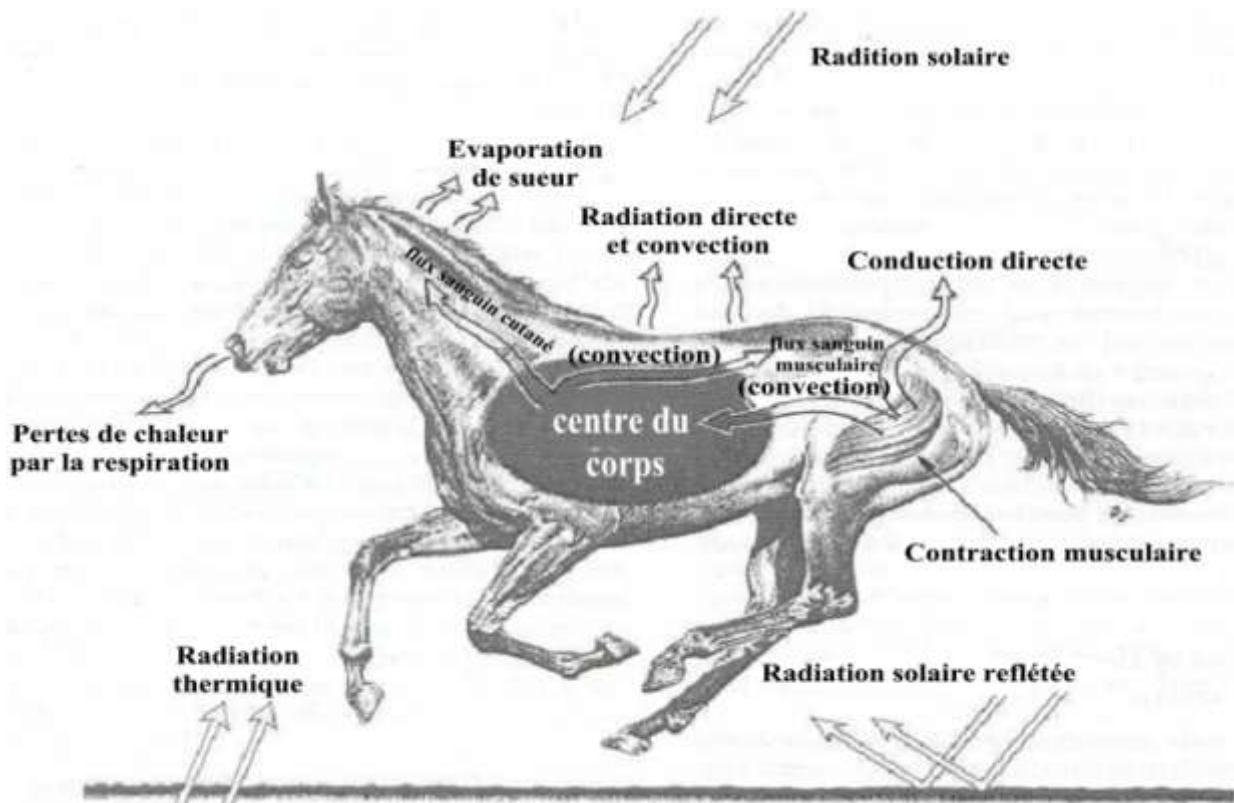


Figure 17: Mécanismes de transfert de la chaleur corporelle chez un cheval pendant l'exercice (KARLESKIND ; 1998)

I.B.2.c) Les facteurs affectant la thermorégulation

I.B.2.c)(1) Les facteurs individuels

➤ Rapport surface corporelle/poids

L'échange de chaleur a lieu principalement au niveau de la peau. Il existe donc un ratio important entre le poids et la surface du corps : par exemple un cheval de 500 kg a une surface de 5 m² de peau ce qui donne un index de 1/100 (soit la chaleur de 100 kg doit être dissipée par 1 m² de surface de peau) alors qu'un homme de 80 kg a 2 m² de surface de peau ce qui donne un index de 1/40 (soit la chaleur de 40 kg doit être dissipée par 1 m² de surface de peau). Un cheval à l'exercice doit donc perdre 2.5 fois plus de chaleur pour une même surface de peau qu'un homme. A contrario, dans un environnement froid, ce ratio apparaît comme un avantage (MARLIN et al ; 2002).

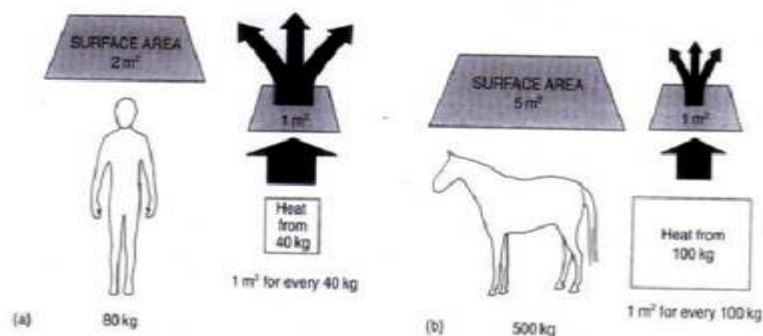


Figure 18 : Ration surface/masse corporelle du cheval et de l'homme (MARLIN et al ; 2002).

➤ *L'âge*

Le taux de sudation semble plus important chez des individus âgés que chez des jeunes pour un même travail fourni mais n'apparaît pas corrélé à une meilleure dissipation de chaleur. Ceci suggère que cette sudation plus élevée peut se produire en présence d'un débit sanguin cutané réduit. Une baisse de la fréquence cardiaque maximale et un volume d'éjection systolique moins conséquent chez les sujets âgés pourraient contribuer à cette diminution de capacité à dissiper la chaleur. Néanmoins, les mécanismes exacts de cette chute de débit sanguin cutané n'ont pas été déterminés (McCUTHEON et GEOR ; 2008).

➤ *La forme physique et l'entraînement*

La capacité à dissiper la chaleur est améliorée par l'entraînement. En effet, certains travaux montrent chez les individus entraînés que la vasodilatation cutanée se met en place plus rapidement après le début de l'exercice. De plus, le volume plasmatique est augmenté ce qui réduit les risques de chute du débit cardiaque lors de l'exercice face à la diminution du volume plasmatique en rapport avec les pertes de fluides sudorales (McCUTHEON et GEOR ; 2008).

➤ *Le fonctionnement des glandes sudoripares*

L'incapacité à suer (anhidrose) peut se rencontrer chez des chevaux de course dans des conditions climatiques chaudes et humides. La cause n'est pas totalement déterminée mais ces conditions climatiques semblent être un facteur prédisposant (SCHUMACHER et KEMPPAINEN ; 1998).

➤ *L'acclimatation aux conditions environnementales*

Un exercice régulier dans des conditions tempérées et sèches peut améliorer les réponses physiologiques à un exercice réalisé dans des conditions chaudes. Toutefois, les effets maximaux de l'acclimatation ne peuvent être obtenus qu'avec un exercice régulier dans la chaleur (GEOR et McCUTHEON ; 1996). Les adaptations physiologiques les plus importantes sont une augmentation du volume plasmatique au repos, une diminution de la fréquence cardiaque induite par l'exercice, une redistribution du débit cardiaque augmentant le débit sanguin cutané, une augmentation du taux de sudation et une diminution du seuil de température corporelle initiant la sudation.

➤ *Le régime alimentaire*

L'utilisation des différents substrats pour produire de l'énergie ne libère pas la même quantité de chaleur. Ainsi, « si des quantités connues de lipides, de glucides ou de protéines, à l'état pur, sont brûlées ensemble dans un calorimètre avec un litre d'oxygène, différentes proportions d'énergie thermique sont produites par chaque catégorie d'aliments » (POCOCK et RICHARDS ; 1999). Les glucides génèrent 5 kcal par litre d'oxygène, les lipides 4.7 kcal et les protéines environ 4.5 kcal. Ces valeurs représentent l'équivalent énergétique de l'oxygène pour l'oxydation complète de ces trois substrats.

L'alimentation peut donc intervenir dans la thermorégulation puisque selon les substrats apportés, la libération de chaleur sera différente.

I.B.2.c)(2) Les facteurs environnementaux

La température, l'humidité, la vitesse et la direction du vent, l'ombre ou encore la présence ou non de nuages modifient l'efficacité des différents moyens de thermorégulation.

➤ *Effet sur les radiations*

Un environnement plus froid que le cheval favorise les pertes de chaleur par les radiations.

➤ *Effet sur la convection*

Le vent va permettre un mouvement d'air à la surface de la peau et augmente principalement les échanges de chaleur par convection. Un cheval mis devant un ventilateur se refroidira plus vite.

➤ *Effet sur la conduction*

Un environnement plus froid en contact avec le cheval (de l'eau fraîche par exemple...) permet d'augmenter la dissipation de chaleur par conduction.

➤ *Effet sur l'évaporation*

La capacité de l'environnement à absorber la vapeur obtenue par évaporation de la sueur dépend de la température, de l'hygrométrie et de la ventilation à la surface de la peau. En milieu sec et tempéré, l'évaporation est optimale pour permettre la dissipation de chaleur et à contrario en milieu frais et humide, l'évaporation est moindre : le facteur déterminant l'évaporation est la différence de pression de la vapeur d'eau entre la peau et l'atmosphère (McCUTHEON et GEOR ; 2008)

Dans des conditions extrêmes avec un environnement chaud et humide, la sueur ne peut pas s'évaporer et recouvre le corps du cheval. Cette perte de sueur inefficace contribue à un déséquilibre en fluide et électrolytes sans pour autant assurer une dissipation de chaleur. Les signaux afférents d'élévation de température corporelle persistent et le cheval continue de suer. Il reste humide et ne se refroidit pas. Si l'exercice est maintenu sous ces conditions, la déshydratation survient rapidement (HINCHCLIFF ; 1998).

I.B.2.d) Le mécanisme

Des thermorécepteurs (ThR) périphériques localisés dans la peau, les muscles squelettiques, la cavité buccale (et peut être même la moelle épinière) et des thermorécepteurs centraux localisés dans l'hypothalamus détectent les changements de température et produisent en réponse un signal. Ce signal est intégré dans l'hypothalamus qui joue le rôle de thermostat (neurones « chauds/froids ») et permet de coordonner la réponse au niveau des effecteurs de la thermorégulation : l'hypothalamus antérieur possède des récepteurs sensibles aux variations chaudes tandis que l'hypothalamus postérieur dispose des récepteurs sensibles aux variations froides. Les principaux effecteurs primaires du cheval sont représentés par les systèmes circulatoires et respiratoires, l'activité musculaire et les glandes sudoripares.

Lorsque le cheval effectue un effort, la chaleur produite par les diverses voies métaboliques engendre un réchauffement corporel et donc une stimulation des neurones « chauds » de l'hypothalamus. L'organisme met alors en place les mécanismes de dissipation de la chaleur : augmentation de la sudation, augmentation des pertes d'eau et de chaleur par les voies respiratoire, vasodilatation cutanée généralisée (Mc CUTHEON et GEOR ; 2008) (Figure 19). Lors d'un refroidissement corporel, des mécanismes pour augmenter la température sont mis en jeu.

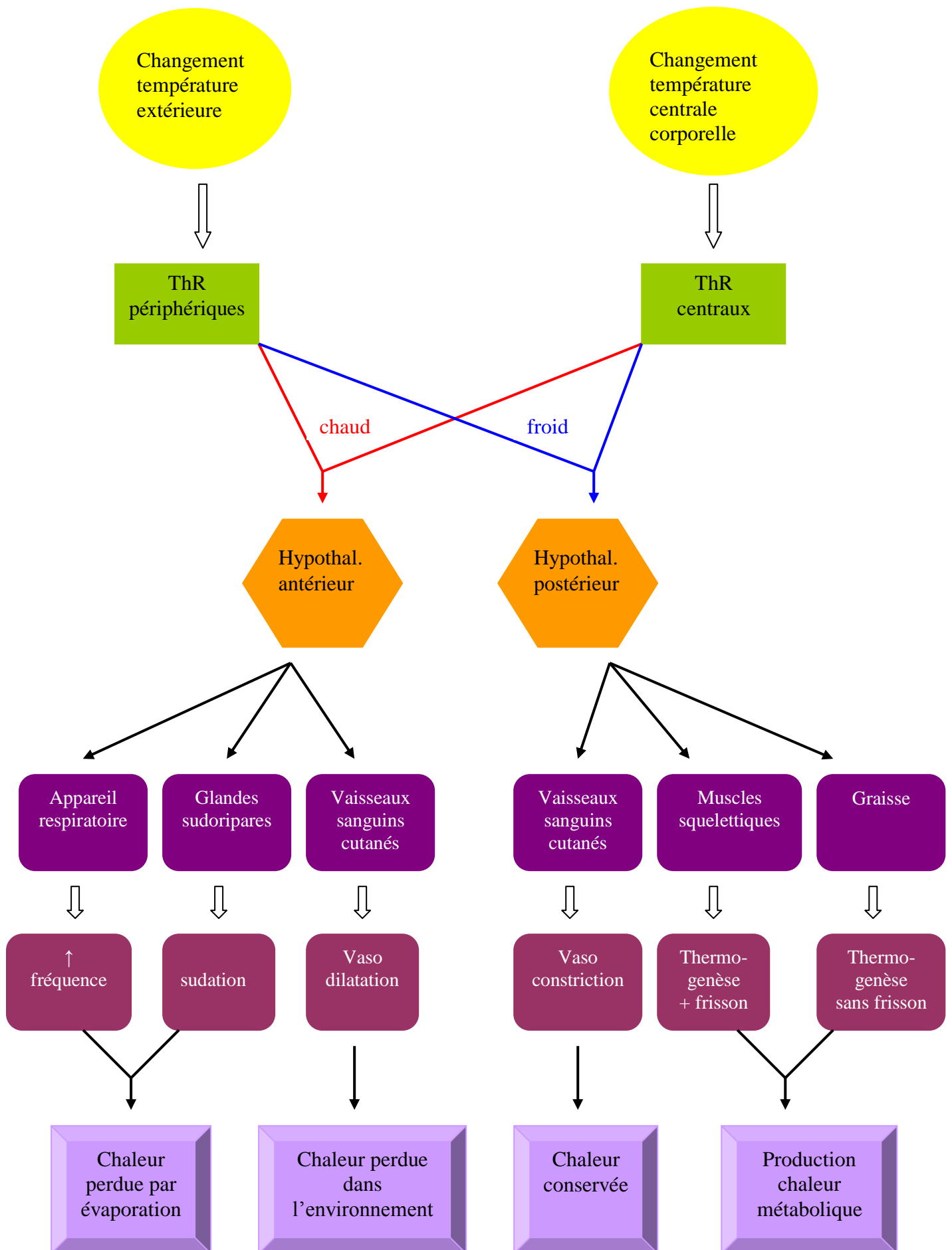


Figure 19 : schéma bilan des mécanismes de la thermorégulation

I.B.2.e)La sueur

I.B.2.e)(1)Fonctionnement des glandes sudoripares.

Deux types de glandes sudoripares existent chez le cheval :

➤ *les glandes sudoripares eccrines*

Elles sont minoritaires et principalement localisées en région naso-labiale. Elles s'ouvrent directement à la surface de la peau et sont composées d'une partie sécrétante et d'un conduit. Les productions restent très locales et ne jouent pas de rôle dans la thermorégulation.

➤ *les glandes sudoripares apocrines*

Elles sont **majoritaires et présentent sur toute la surface du corps** ; ce sont elles qui interviennent dans la thermorégulation. Chaque glande est associée à un follicule pilo-sébacé et le canal excréteur débouche au collet du poil au dessus de l'ouverture de la glande sébacée. Ces glandes sont entourées de cellules myoépithéliales qui assurent des contractions en rythme et des décharges de sueur à des intervalles de quelques minutes. Chez les chevaux, ces glandes sont sous contrôle du système nerveux sympathique bien qu'il n'y ait pas de mise en évidence d'une innervation directe : la sudation se produit via une stimulation humorale sur des récepteurs β_2 adrénergiques. Cependant, il semblerait qu'il existe un double contrôle par l'adrénaline circulante et la noradrénaline relâchée localement (JESSEN ; 2000). La sueur émise par ces glandes diffère de celle émise par les glandes sudoripares eccrines puisqu'elle est **hypertonique** et qu'elle contient d'autres éléments détaillés au paragraphe suivant.

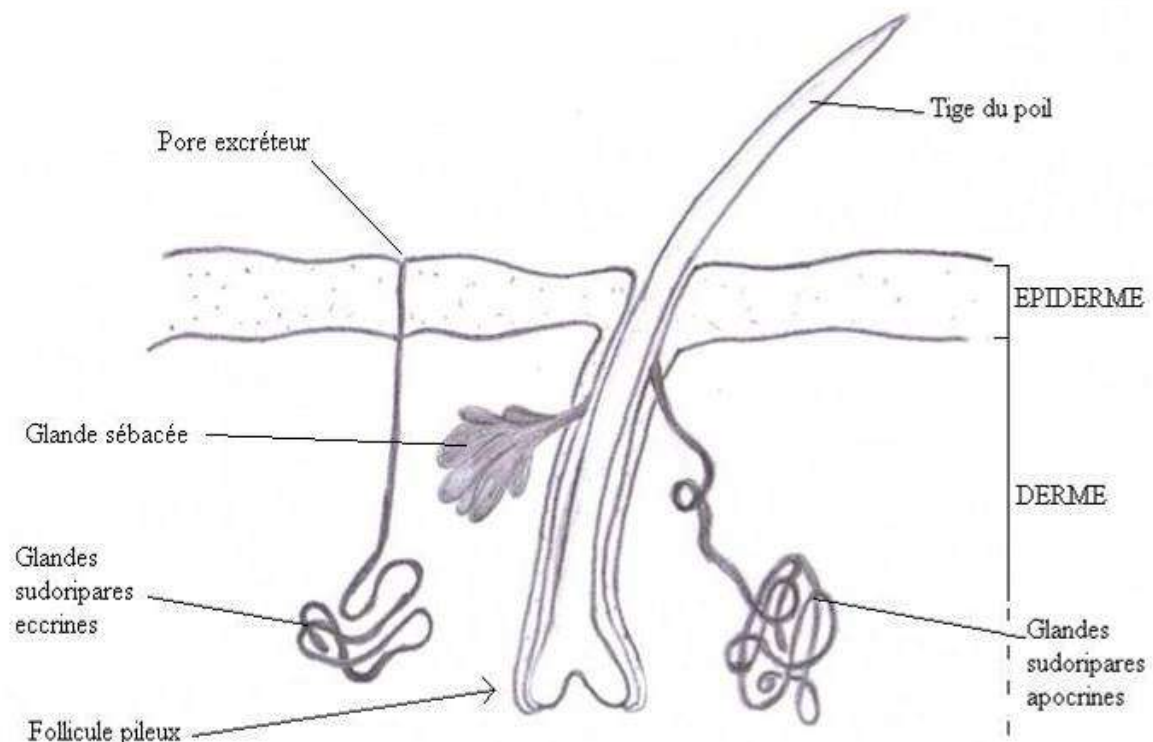


Figure 20 : Schéma des deux types de glandes sudoripares (illustration personnelle).

I.B.2.e)(2)Composition de la sueur

Les éléments présentés dans ce paragraphe font référence aux glandes sudoripares apocrines.

La sueur du cheval est légèrement hypertonique par rapport au plasma (ce qui est différent d'autres espèces comme l'homme et revêt des conséquences sur les pertes importantes d'électrolytes) (PILARDEAU ; 1995) La concentration en sodium est semblable ou sensiblement supérieure à celle du plasma, celle en chlorure est significativement plus élevée et celle en potassium est plus de **10 fois supérieure** à celle du plasma. D'autres électrolytes sont présents (Ca^{2+} , Mg^{2+} , phosphore inorganique) en quantité moins importantes Une protéine appelée la lathérine est également retrouvée en quantité importante (0.75 – 1.24 g/L) (Mc CUTHEON et GEOR, 1998). Elle facilite la dispersion et l'évaporation de la sueur ; c'est elle qui lui donne son aspect mousseux.

Tableau 2 : Composition comparative en électrolytes de la sueur et du plasma du cheval (Mc KEEVER ; 2008).

Electrolytes	Plasma		Sueur	
	mEq/L	mmol/L	mEq/L	mmol/L
Na^+	140		115-150	
K^+	4		25-50	
Cl^-	100		140-190	
Mg^{2+}	1.1	0.55	5	2.5
Ca^{2+}	2.5	1.25	3-20	1.5-10

L'intensité de l'exercice et les conditions climatiques influencent sur la composition électrolytique de la sueur et le taux de sudation.

La consommation d'aliments entraîne des modifications plasmatiques temporaires (due aux autres sécrétions notamment salivaires, pancréatiques...et à l'apport de divers substrats ou électrolytes) et la sueur excrétée lors d'un effort postprandial peut ainsi être différente (HINCHCLIFF ; 1998). De plus, tout déficit en un des composants de la sueur (électrolytes, acides aminés...) pourrait être à l'origine d'une modification de celle-ci et peut être d'une moins bonne thermorégulation mais aucune recherche récente ne permet de conclure.

I.B.2.e)(3)Des pertes hydriques importantes

La quantité d'eau perdue lors de la sudation peut être théoriquement estimée en pesant le cheval avant et après l'effort. En effet, 1 litre d'eau pesant 1 kg, le calcul théorique des pertes hydriques est aisé. Pour être très précis, il faudrait prendre en compte les éventuelles pertes urinaires ou fécales. Certains auteurs rapportent des valeurs, pour un cheval qui court un ou deux canters sur 1600 mètres en milieu de journée, de 5 à 7 kg soit 5 à 7 litres de sueur perdue. De même, un travail plus important au galop peut aboutir à des pertes de sueur jusqu'à 10 litres (MARLIN et al ; 2002). Lors de course d'endurance de 60 km, le poids des chevaux a diminué en moyenne de 27 kg ce qui représente 5-6 % du poids initial (CARLSON ; 1983). Des études réalisées sur des chevaux participants à des CCI ont montré que les pertes en eau avaient principalement lieu lors de l'épreuve de fond, 50 % entre les phases A et C et 50 % pour la phase D. Des différences ont également été trouvées lorsque les chevaux courent sur 3 jours avec les 4 phases du fond ou sur 1 jour avec seulement la phase D. Ceci indique que les déficits hydriques dépendent plus de la distance et de la durée de

l'exercice que des variations de vitesse, durée et effort de saut inhérente à chaque niveau de compétition. Les valeurs obtenues pour les chevaux de CCE peuvent être corrélées à celles obtenues pour les chevaux d'endurance : le taux de perte en eau corporelle se situe entre 10 et 15 L/h (WHITE ; 1998).

Si on prend en compte la surface corporelle du cheval (5 m² pour un cheval de 500 kg) et la capacité maximale de sudation (environ 15 litres/heure pour ce même cheval), on obtient un **taux de sudation maximale de 3 L/m²/h soit 50 mL/m²/min** ce qui est trois fois plus important que chez un être humain (MARLIN et al ; 2002).

Cependant, quand la sudation excède le phénomène d'évaporation, la sueur est évacuée de la surface de la peau au goutte à goutte. Dans cette situation, la sudation ne joue plus le rôle de thermorégulation car même si la sueur renferme un peu de chaleur cela ne représente que 1% de perte thermique par rapport à la chaleur qui serait perdue par évaporation. Les pertes hydro-électrolytiques continuent sans toutefois que la thermorégulation soit aussi efficace et nécessiteront d'être remplacées notamment par le biais des apports nutritionnels.

La perte de quantités conséquentes de fluides et d'électrolytes en réponse à l'exercice peut être source d'effets délétères sur la fonction cardio-vasculaire, la capacité à l'effort et la thermorégulation.

1.B.2.e)(4) Conséquences des pertes de fluides

La perte en eau a pour principale conséquence une diminution progressive de la quantité d'eau corporelle totale et du volume sanguin circulant. Celui-ci est réajusté jusqu'à un certain point par divers mécanismes que nous allons expliciter.

Le système cardiovasculaire joue un rôle primordial dans la thermorégulation. En effet, une partie du flux sanguin est redistribué vers la peau d'une part pour assurer le transport de chaleur à la surface du corps et d'autre part pour permettre l'acheminement des fluides nécessaires à la production de sueur. Au fur et à mesure de l'exercice, la perte d'eau entraîne une réduction de la quantité d'eau corporelle totale et une diminution du volume sanguin. Le débit cardiaque et la répartition des flux entre les différents organes doit être régulés. Aussi, l'irrigation des organes « non prioritaires » (réseaux vasculaires splanchniques et rénal) est nettement diminuée au profit du flux sanguin cutané et musculaire. De plus, l'eau présente dans le tractus digestif au niveau du cæcum et du colon peut être mobilisée pour restaurer le volume sanguin. Lorsque les pertes en fluides deviennent importantes sans être compensées et que les adaptations cardiovasculaires sont insuffisantes (limite de la tachycardie induite par la diminution du volume circulant) pour maintenir un flux sanguin cutané adéquat, le taux de transpiration diminue et la dissipation de chaleur est compromise. Dans ces conditions, la température corporelle centrale augmente et certains auteurs rapportent que la fatigue apparaît chez le cheval lorsque la température centrale approche 42.5°C (GUTHRIE et al ; 1998). Parallèlement, la perte de fluides lors de la sudation est responsable d'un appel d'eau des compartiments intracellulaires vers les compartiments extracellulaires pour compenser la diminution du volume sanguin. Si l'exercice est prolongé sans remplacement de ces pertes, une déshydratation cellulaire apparaît progressivement induisant une altération des fonctions cellulaires, de la fatigue et une incapacité de thermorégulation correcte (McKEEVER ; 2008).

Ces situations sont surtout rencontrées lors d'exercice prolongé dans des conditions environnementales chaudes, en l'absence de compensation des pertes ou lorsque l'exercice est poursuivi en présence d'une déshydratation. Cette dernière constitue un des facteurs déterminant du « syndrome d'épuisement ». En effet, il semblerait que le cheval développe des troubles lorsque la déshydratation approche 6-7 % du poids corporel perdu en eau (MARLIN et al ; 2002). L'hyperthermie, les troubles splanchniques et neuromusculaires,

décrits comme consécutifs à un effort contraignant, représentent les autres facteurs du syndrome d'épuisement. Celui-ci est donc multifactoriel et résulte des désordres hydro-électrolytiques, thermiques et métaboliques induits par l'exercice de façon interdépendante.

Les signes cliniques d'épuisement peuvent varier en fonction des organes concernés par une hypoperfusion. Ainsi, on peut observer des impactions du colon ou des diarrhées à la suite de mobilisation d'eau pour maintenir le volume sanguin circulant. De même, l'exposition à la myoglobine ou à d'autres pigments libérés par les fibres musculaires endommagées lors de déshydratation peuvent aboutir à des atteintes rénales (FOREMAN ; 1998).

Il est rare d'observer des cas extrêmes de syndrome d'épuisement allant jusqu'au coma ou à la mort.

1.B.2.e)(5)Conséquences des pertes électrolytiques

Les altérations électrolytiques multiples induites par des efforts prolongés ou par des modifications iatrogènes de l'homéostasie hydroélectriques semblent fortement contribuer au développement de troubles neuromusculaires.

1.B.2.e)(5)(a)L'hyponatrémie

La concentration sudorale en sodium est isotonique à légèrement hypertonique. Ainsi, les pertes en sodium sont corrélées à la déshydratation associée à la sudation. Une diminution en Na^+ plasmatique pourrait s'expliquer par un accès à de l'eau non complémentée en électrolytes après un exercice où les pertes ont été importantes. La réhydratation hypotonique faisant suite à une déshydratation isotonique entraîne une hyponatrémie (MANSMANN et al. ; 1974)). Le stimulus osmotique est donc insuffisant pour provoquer une sensation de soif et permettre la réhydratation de l'organisme.

Les pertes en sodium ainsi que la déshydratation entraînent une diminution du volume plasmatique responsable d'une hypoperfusion tissulaire et d'un défaut d'apport en oxygène et en substrats (CARLSON ; 1987). Elles génèrent également une tachycardie consécutive à une hypotension, une augmentation du temps de remplissage capillaire, d'éventuels symptômes neurologiques, des crampes musculaires et de la fatigue.

1.B.2.e)(5)(b)L'hypochlorémie

La sueur étant hypertonique en chlore, l'effort s'accompagne de pertes plus ou moins importantes selon son intensité et sa durée. La concentration plasmatique en chlore est diminuée après la phase D et continue de diminuer dans les trente minutes après la fin du cross selon certaines études (WHITE ; 1998).

Une réhydratation hypotonique peut également induire une hypochlorémie.

Les pertes en chlore provoquent une réabsorption rénale de bicarbonates pour maintenir l'électroneutralité. Celle-ci peut être à l'origine d'une alcalose métabolique.

1.B.2.e)(5)(c)L'hypokaliémie

La sueur étant 10 fois plus concentrée en potassium que le plasma, les pertes sudoripares sont très importantes. Cependant, la diminution en K^+ corporel est sous-estimée car la concentration plasmatique n'est pas révélatrice des stocks cellulaires. Lorsque la concentration plasmatique est évaluée après l'effort, elle ne tient pas compte des pertes intracellulaires qui ont compensé les pertes extracellulaires. En effet, les muscles relâchent du potassium au cours de l'effort et celui-ci est réintégré au compartiment cellulaire

progressivement après l'exercice. Comme pour le sodium, la réhydratation hypotonique peut jouer sur l'hypokaliémie.

Les pertes en potassium sont concomitantes à de la fatigue, à un défaut de motilité gastro-intestinale, à une paralysie flasque des muscles squelettiques, à une hyperexcitabilité des nerfs longs et à de la rhabdomyolyse (LINDINGER et ECKER ; 1995).

I.B.2.e)(5)(d)L'hypocalcémie

Même si la concentration sudorale en calcium n'est pas constante au cours de l'exercice, les pertes lors de sudation importante peuvent être conséquentes.

Il semblerait néanmoins que la diminution de la concentration plasmatique en calcium ionisé observée lors d'un effort soit associée à d'autres mécanismes. Les principales hypothèses qui tentent d'expliquer cette hypocalcémie sont la complexation des ions Ca^{2+} avec le lactate ou le phosphore inorganique, la diminution du calcium ionisé résultant de l'augmentation du pH et de la concentration en albumine (GEISER et al. ; 1995).

L'hypocalcémie observée lors d'un exercice peut être associée au flutter diaphragmatique, à la rhabdomyolyse à l'exercice et à la fatigue (HODGSON ; 1993). Cependant, AGUILERA-TEJERO et al. (1998) ont montré qu'une hypocalcémie induite expérimentalement n'est pas pu être associée à ces signes cliniques. Le flutter diaphragmatique se caractérise par une contraction du diaphragme de manière synchrone avec les battements cardiaques et non avec les mouvements respiratoires. Il est détectable par l'apparition de spasmes au niveau des flancs. Il semblerait que l'hypocalcémie seule ne soit pas responsable de ce syndrome. Une alcalose métabolique, une hypochlorémie, une hypokaliémie et une hypomagnésémie sont des altérations électrolytiques souvent présentes. Ce dernier est en général transitoire et l'administration par voie intraveineuse de calcium aboutit le plus souvent à la rétrocession des signes cliniques. Il est important à considérer puisqu'il est associé à de la fatigue et peut être cause d'élimination au contrôle vétérinaire.

I.B.2.e)(5)(e)L'hypomagnésémie

La concentration sudorale en Mg^{2+} est environ 6 fois plus importante que dans le plasma. Ainsi, un effort associé à une sudation conséquente peut aboutir à des pertes en magnésium élevées. Cependant, le dosage du magnésium est plus rarement réalisé.

L'hypomagnésémie est relié à l'apparition de spasmes musculaires et de tétanie secondaires à une augmentation de la libération d'acétylcholine au niveau des jonctions neuromusculaires (CARLSON ; 1983).

I.B.2.f)La récupération après exercice

Le cheval est mis au repos dans un lieu à l'ombre. Un courant d'air naturel ou obtenu à l'aide de ventilateurs peut favoriser la dissipation de chaleur par conduction. De même, l'application d'eau fraîche sur les membres et le long des gros vaisseaux cutanés améliore les pertes de chaleur par conduction et évaporation. Une douche complète du cheval avec de l'eau glacée est à éviter car elle induirait une vasoconstriction réflexe des vaisseaux cutanés et empêcherait la bonne conduction de chaleur du centre vers la périphérie du corps.

En cas de coup de chaleur, ces mesures doivent être mises en place très rapidement. On peut également appliquer des packs de glace mais de façon localisée ou placer le cheval dans un cours d'eau fraîche peu profond (HODGSON ; 2000).

Le remplacement des pertes hydro-électrolytiques sera abordé dans la partie II.

L'essentiel :

* La cellule musculaire libère inévitablement de la chaleur au cours des diverses réactions métaboliques indispensables à la contraction : la température corporelle doit être maintenue et le refroidissement permis par l'évaporation de la sueur est de loin le moyen le plus efficace.

* La sudation est à l'origine de pertes hydriques et électrolytiques qui peuvent être importantes lors de l'épreuve de cross. Un des objectifs nutritionnels sera donc de compenser ces pertes et ce point sera abordé dans la 2^{ème} partie.

* Le choix d'une alimentation riche en lipides/glucides/protides n'est pas non plus anodin, la production de chaleur étant différente selon le substrat mis en jeu.

* L'entraînement joue également un rôle sur les capacités de thermorégulation : la vasodilatation cutanée se met en place plus rapidement, le statut cardiovasculaire est préservé par une déplétion du volume plasmatique moindre pour un même exercice et une adaptation cardiaque à l'effort.

II.Nutrition et suivi médico-sportif du cheval de CCE

L'intérêt porté à la nutrition animale a permis l'obtention de bons résultats en matière de bien-être, santé, performance et longévité. Les connaissances en physiologie digestive de cet animal sont importantes à prendre en compte pour l'établissement d'une ration alimentaire en adéquation avec les besoins engendrés par l'utilisation comme cheval de concours complet. Toutefois, la gestion pratique de ces chevaux, bien que calquée sur des bases théoriques, nécessite quelques spécificités pour palier aux exigences contre nature que nous leur imposons. Dans un tel contexte où l'animal devient un véritable athlète, le suivi de son état de santé apparaît alors comme la dernière étape pour s'assurer d'une carrière sportive optimale.

II.A.Bases théoriques de l'alimentation du cheval de sport

II.A.1.Rappels sur la digestion des équidés

II.A.1.a)Particularités anatomiques du tube digestif

L'estomac du cheval a une faible capacité (15 à 18 L). Il ne se remplit en moyenne qu'aux deux tiers et possède donc une contenance fonctionnelle proche de 10-12 L. L'intestin grêle constitue 20 à 30% du volume total, répartis entre le duodénum (1 m) et le jéjuno-iléon (20 m). Le gros intestin est divisé en quatre parties, le caecum, le colon replié, le colon flottant et le rectum. Son volume total est évalué en moyenne à 140 L chez les chevaux, et représente près de 60% du volume total du tube digestif. Son organisation anatomique permet un ralentissement important du transit, et facilite ainsi la dégradation microbienne et l'absorption des produits terminaux résultant de ces fermentations. Des zones de fort rétrécissement sont présentes (jonction iléo-caecale, caeco-colique, courbure pelvienne...) et peuvent intervenir dans certains troubles digestifs (ELLIS et HILL ; 2005).

II.A.1.b)Particularités de la digestion

Dans l'estomac, les particules solides sont en partie décomposées par l'acidité et les protéines par la pepsine ce qui représente une faible digestion. 75 % des liquides sont vidangés 30 minutes après l'ingestion contre 25 % seulement pour les matières sèches (LEWIS ; 1995).

Les sucres, le lactose, l'amidon, les matières grasses et les matières azotées sont en grande partie digérés dans l'intestin grêle. Ils fournissent à l'animal des éléments nutritifs énergétiques (glucose, acides gras longs...) qui sont absorbés avec la majeure partie des vitamines et des minéraux (calcium, magnésium, potassium, sodium et une faible part du phosphore qui est surtout absorbé dans le colon) (Figure 22). Une part importante de l'azote non protéique, notamment l'urée ingérée, est absorbée dans l'intestin grêle et va rejoindre l'urée déjà présente dans le sang. Si l'apport alimentaire excède les besoins, cette urée est excrétée dans le gros intestin ou l'urine (Figure 23) (LEWIS ; 1995).

Le gros intestin renferme une flore microbienne importante et très active qui assure, par un processus de fermentation, la transformation des constituants alimentaires non digérés dans l'intestin grêle en éléments nutritifs. En effet, la digestion des parois végétales permet l'obtention d'acides gras volatils qui sont absorbés par la suite au niveau du cæcum ou du colon (Figure 22). Les glucides non encore digérés subissent une fermentation ce qui aboutit à la formation de lactate (attention à l'apport trop important de glucides). Cette flore produit également des protéines à partir de l'urée sécrétée du sang dans le gros intestin (50%) sous forme d'ammoniaque. De ce fait, une partie de ces protéines peut ensuite être digérées et

fournir des acides aminés qui sont absorbées par le gros intestin (Figure 23). Ce processus de récupération est toutefois limité mais intéressant lorsque le cheval reçoit peu de matières azotées dans son alimentation. Le colon descendant assure une absorption d'eau et de minéraux (ELLIS et HILL ; 2005).

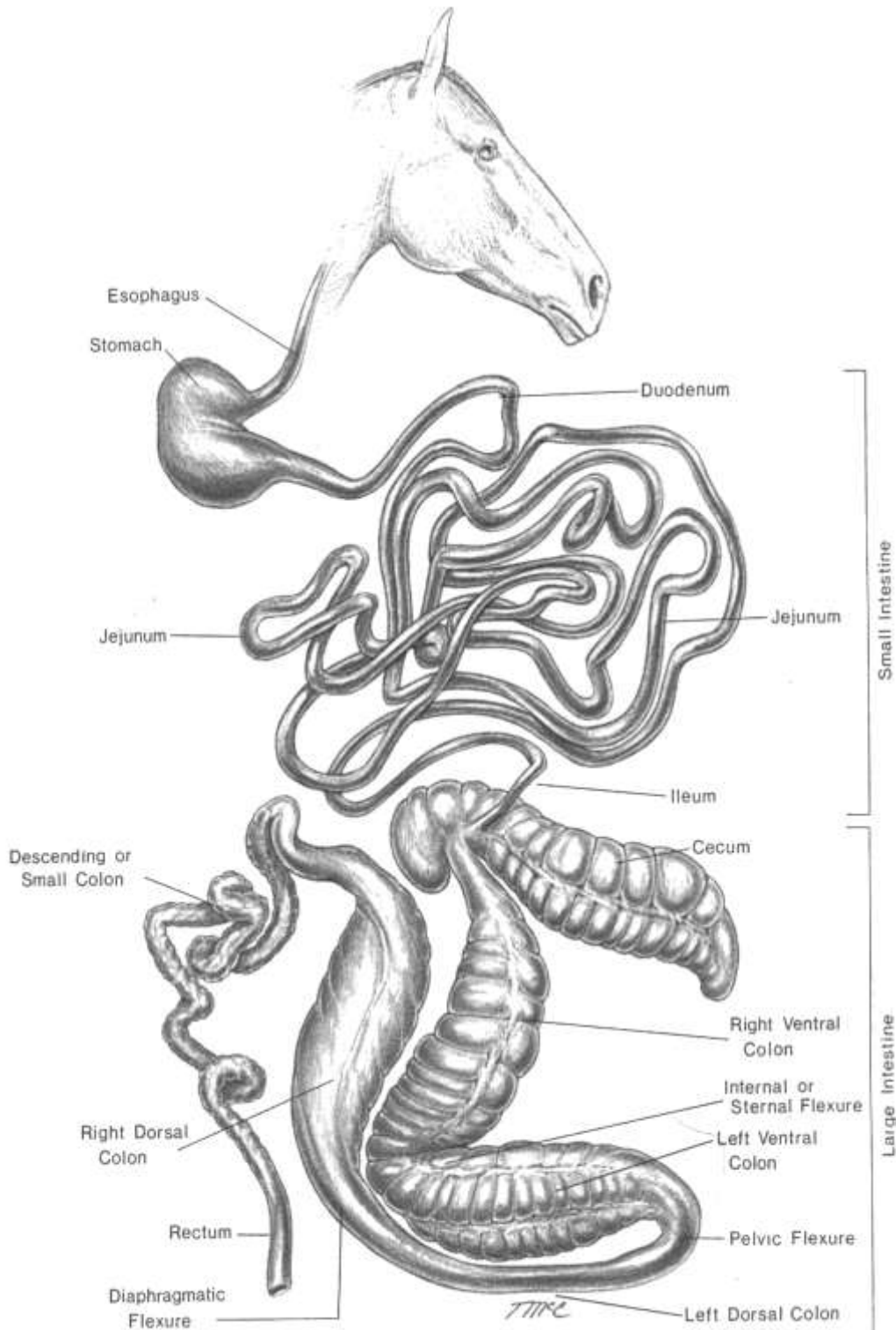


Figure 21 : Tractus gastro-intestinal du cheval (LEWIS ; 1995)

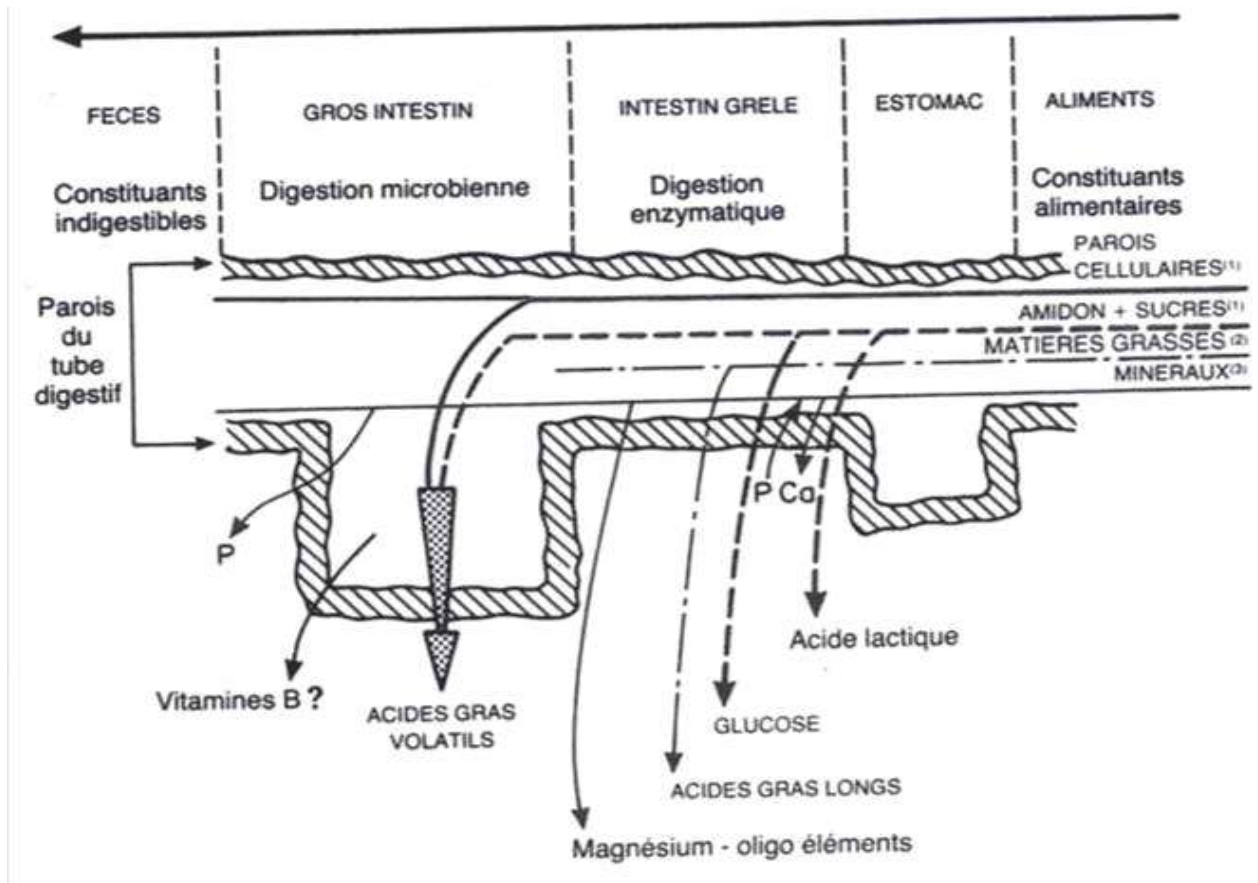


Figure 22 : Sites de la digestion des glucides (1), des matières grasses (2) et des minéraux (3) chez le cheval (INRA ; 1990).

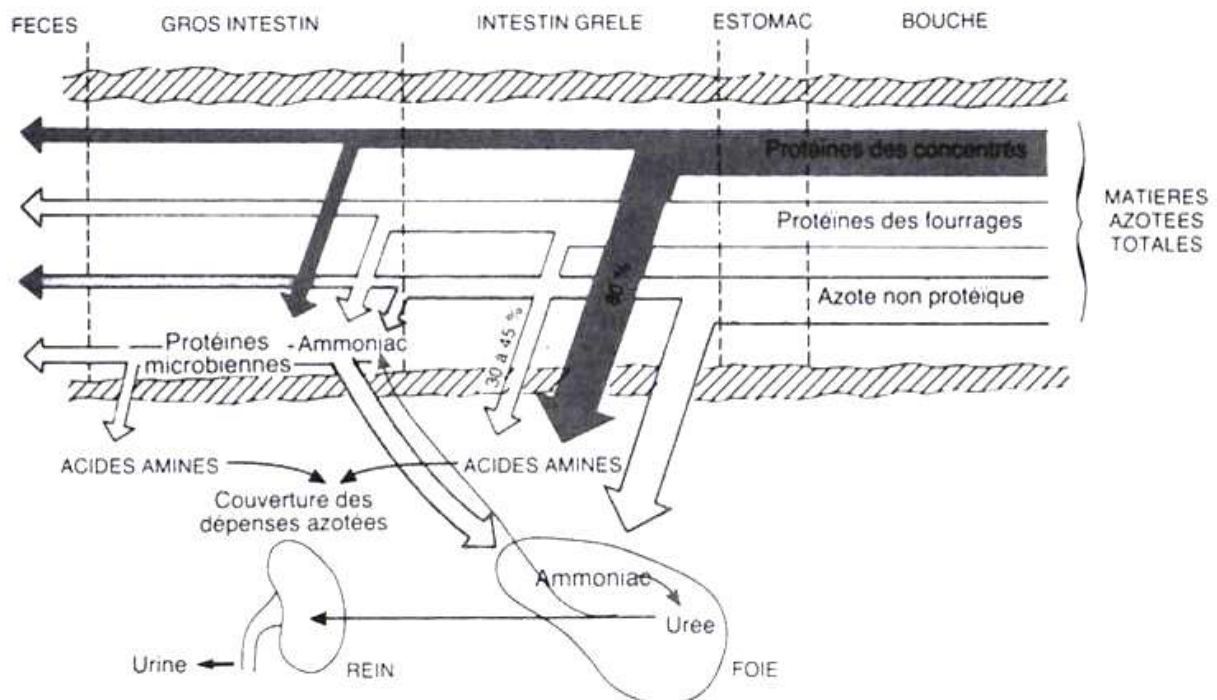


Figure 23: Sites de digestions des matières azotées chez le cheval (INRA ; 1990).

II.A.2. Evaluations des besoins nutritionnels et apports alimentaires

Les chevaux ont des besoins en éléments nutritifs et en eau qui dépendent de leurs dépenses énergétiques. On distingue les besoins d'entretien liés aux dépenses de la vie des animaux dans les conditions normales d'élevage et les besoins de production comme par exemple le travail musculaire. Les besoins totaux de chaque animal correspondent à la somme des besoins d'entretien et de production.

L'apport d'éléments nutritifs est conditionné par la composition chimique des aliments et par les transformations qu'ils subissent dans l'appareil digestif du cheval. Les aliments sont constitués d'eau et de matière sèche, elle-même composée de matières minérales (macro et oligo-éléments) et de matière organique (glucides, lipides et protides).

Les données sont principalement tirées des ouvrages de l'INRA (1990) et de WOLTER (1999)

II.A.2.a) Valeur énergétique des aliments et besoins énergétiques des chevaux

Seulement une partie de l'énergie absorbée lors de la digestion des aliments couvre les dépenses d'entretien ou de production des chevaux : c'est l'énergie nette. De plus, seul un certain pourcentage de l'aliment est absorbé au cours de la digestion dans le tube digestif : c'est la digestibilité de l'aliment.

Ainsi, la valeur énergétique des aliments dépend :

- de la digestibilité des constituants qui le composent (glucides, protides, lipides,...)
- des pourcentages de l'énergie absorbée fournis par les produits terminaux de la digestion (glucose, acides aminés, acides gras longs/volatils,...)
- de l'efficacité respective de leur utilisation dans l'organisme.

La valeur énergétique française des aliments et les besoins énergétiques des chevaux sont exprimés en **Unité Fourragère Cheval (UFC)**. Cette unité correspond à la valeur énergétique nette d'un kilogramme brut d'un aliment de référence (l'orge) pour l'entretien du cheval (INRA ; 1990). Remarque : le système NRC (National Research Council) utilisé aux USA et dans d'autres pays du monde, exprime les besoins énergétiques en énergie digestible.

Les apports énergétiques des différents aliments d'une ration sont exprimés en UFC et s'additionnent. De même, les besoins d'entretien et de production des différents types de chevaux sont exprimés en UFC et s'additionnent.

Le cheval de sport a des dépenses énergétiques augmentées qui résultent d'un accroissement du travail des muscles squelettiques et, dans une moindre mesure, de l'intensification du fonctionnement des appareils cardiovasculaire et respiratoire. Les variations de la dépense énergétique selon la nature et l'intensité du travail ont pu être déterminées par extrapolation et ont conduit à l'élaboration de nombreux tableaux d'apports alimentaires recommandés. **La définition du travail, très léger à intense, est celle établie dans l'ouvrage de l'INRA (1990).**

Tableau 3 : Apports énergétiques totaux recommandés en UFC (par animal et par jour) pour un cheval de sport.

Etat physiologique	CHEVAL (jument ou hongre)							
	450 kg		500 kg		550 kg		600 kg	
ENTRETIEN	3.9*	4.2**	4.2*	4.5**	4.5*	4.8**	4.8*	5.1**
TRAVAIL								
<i>Très léger</i>	5.1*	5.2**	5.4*	5.5**	5.7*	5.8**	6*	6.1**
<i>Léger</i>	6.6*	6.2**	6.9*	6.5**	7.2*	6.8**	7.5*	7.1**
<i>Moyen</i>	7.6*	7.2**	7.9*	7.5**	8.2*	7.8**	8.5*	8.1**
<i>Intense</i>	6.9*	8.2**	7.2*	8.5**	7.5*	8.8**	7.8*	9.1**

* : INRA ; 1990

** : WOLTER ; 1999

Dans le cas de l'étalon, ajouter 0.4 UFC si 450 ou 500 kg et 0.5 UFC si 550 ou 600 kg.

II.A.2.b) Les besoins alimentaires en fibres

Un apport suffisant de fibres alimentaires est indispensable à la fois pour apporter une **source de lest**, pour **contenter mentalement** le cheval et pour contribuer à **l'apport énergétique** (FRAPE ; 2005).

Pour préserver le bon équilibre psychologique du cheval, il conviendrait de lui laisser à disposition une quantité d'environ 5 kg de fourrage sec ce qui augmente la durée de prise alimentaire qui est un facteur d'occupation et de tranquillisation.

Les fibres jouent un rôle mécanique (stimule le péristaltisme) et un rôle hygiénique (bonne fermentescibilité). De plus, elles préviennent certains troubles digestifs (stases et indigestions, dysmicrobismes et auto-intoxications).

L'énergie provient des acides gras volatils produits lors des fermentations caecocoliques des fibres. Le rendement est moindre et cela constitue plutôt une source complémentaire d'énergie économique.

Il convient d'ajuster les apports alimentaires en fibres selon leur nature et leur taux pour profiter à la fois de leur hygiène digestive et d'une bonne digestibilité. Les besoins minimums sont exprimés en **cellulose brute** et sont de l'ordre de **15 à 18 p.100** de la ration totale (WOLTER ; 1999).

II.A.2.c) Valeur azotée des aliments et besoins azotés des chevaux

En France, la valeur azotée des aliments et les besoins azotés des chevaux sont exprimés en **Matière Azotées Digestibles Cheval (MADC)**. C'est une évaluation de la quantité d'acides aminés apportés par chaque aliment (INRA ; 1990). Ainsi, on peut comparer les aliments entre eux et les substituer les uns aux autres sur la base de leurs apports en acides aminés. Le système NRC exprime les besoins protéiques en protéines brutes.

Les apports azotés des différents aliments d'une ration, exprimés en g de MADC, s'additionnent de même que les besoins azotés d'entretien et de production.

A l'entretien, les besoins sont de l'ordre de 60 g MADC/100 kg PV. On peut déterminer le rapport protidoénergétique qui est de 70 g MADC/UFC.

Au travail, les besoins protéiques sont semblables : **70 g MADC/UFC**. La complémentation donnée habituellement à base de céréales suffit le plus souvent à couvrir ces besoins sans qu'il soit utile de recourir à des concentrés protéiques. Les rations usuelles semblent vraisemblablement toujours excessives en azote même avec des fourrages de qualité moyenne. Si on souhaitait les ajuster aux stricts besoins théoriques, il faudrait restreindre ces fourrages pour de la paille mais ceci serait moins appétant et stimulant pour le cheval de compétition.

En pratique, le taux protéique de la ration du cheval de sport doit rester proche de **11-12 p.100**. Les surcharges azotées élèvent l'ammoniémie, accroissent la sudation (augmentation de la lathérine), augmentent la diurèse et donc les besoins hydriques. Dans ce cas, les performances sportives risquent d'être diminuées (WOLTER ; 1999).

D'un point de vue qualitatif, les besoins en acides aminés indispensables sont mal connus chez le cheval. Les exigences supposées sont sans doute satisfaites à l'entretien comme au travail grâce aux fourrages qui comportent habituellement des protéines de bonne qualité (herbe, foin) (FRAPE ; 2005). Si nécessaire, la qualité protéique peut être améliorée en utilisant des farines de luzerne, des tourteaux de soja...

Tableau 4 : Apports protéiques recommandés chez le cheval de sport en g de MADC (INRA ; 1990)

Etat physiologique	CHEVAL (jument ou hongre)			
	450 kg	500 kg	550 kg	600 kg
ENTRETIEN	275	295	320	340
TRAVAIL				
<i>Très léger</i>	350	370	390	415
<i>Léger</i>	450	470	490	510
<i>Moyen</i>	515	540	555	580
<i>Intense</i>	470	490	510	530

Dans le cas de l'étalon, ajouter 30 g MADC

II.A.2.d) Les besoins en lipides

L'apport de lipides en tant que carburant énergétique est très intéressant lorsqu'il s'agit de renforcer le niveau alimentaire notamment pour les chevaux de concours complet : un kg de matières grasses correspond approximativement à 3-3.5 UFC. De plus, les lipides présentent d'autres avantages : bonne acceptabilité, pas de risque d'engendrer de dysmicrobismes caecocoliques, pas d'induction postprandiale d'hyperglycémie et d'hyperinsulinémie.

D'un point de vue qualitatif, les acides gras essentiels (AGE) doivent être fournis par l'alimentation car ils ne peuvent, par définition, être synthétisés par l'organisme. On distingue deux séries différentes parmi les AGE :

- la série $\omega 6$ avec pour premier représentant l'acide linoléique.
- La série $\omega 3$ avec pour chef de file l'acide α linoléique

Leurs rôles métaboliques sont doubles : ils sont les constituants principaux de toutes les membranes biologiques et sont précurseurs des prostanoïdes. Les besoins des équidés en AGE ne sont pas déterminés néanmoins il est évident qu'un apport est indispensable par le biais d'aliments qui en sont suffisamment pourvus.

Il est possible d'utiliser du saindoux (jusque 15-20 p.100) ou de l'huile de maïs ou de tournesol (3-5 p.100). Dans ce cas, il faut s'assurer de la **qualité de ces huiles** et ajouter des **antioxydants** (WOLTER ; 1999). En pratique, les taux lipidiques devraient être plafonnés à 5-7 p.100 pour le cheval de course et 10-12 p.100 pour le cheval d'endurance, le cheval de complet devrait se situer entre ces deux extrêmes.

II.A.2.e) Les besoins en minéraux

Les répercussions du travail musculaire sont particulièrement nettes sur les besoins en chlorure de sodium, en calcium et en magnésium mais elles concernent également les oligo-éléments. Nous ne détaillerons que certains minéraux qui sont importants à prendre en compte pour le cheval de CCE. Les valeurs présentées sont estimées pour un cheval adulte de 500 kg au travail (WOLTER ; 1999).

II.A.2.e)(1) Macroéléments

➤ *Chlorure de sodium*

Il est principalement perdu lors de la sudation (cf. § I/B). Les besoins en chlorure des chevaux n'ont pas été évalués spécifiquement, mais ils sont supposés être corrects lorsque ceux en sodium sont couverts avec du sel. Ainsi les chevaux qui travaillent ont des besoins 2 à 3 fois plus importants que ceux d'un cheval à l'entretien. Les besoins peuvent augmenter **jusque 50 à 70 g/j** (25-30 g/j à l'entretien). Ils sont normalement couverts par une alimentation présentant des taux de l'ordre de **0.5 p.100 de matière sèche (MS)**. De plus, une pierre à lécher mise à disposition permet un libre accès et une bonne autorégulation. Il faut cependant éviter les surconsommations initiales qui peuvent être à l'origine de diarrhées ou des pierres trop dures ou trop rares qui exposent alors à des sous-consommations. A court terme, l'ajout de sel dans l'eau de boisson peut être bénéfique après un effort exténuant (par exemple, 20 g de sel dans 20 L d'eau distribuée de façon entrecoupée).

➤ *Potassium*

Le potassium accroît l'excitabilité neuromusculaire : il prévient des signes d'asthénie nerveuse et musculaire. Les besoins sont de l'ordre de **0.6 p.100 de MS**. Ils sont normalement satisfaits lorsque la ration comporte au moins 50 p.100 de fourrages. En revanche, les céréales et la pulpe de betterave en sont déficientes. La sudation peut aboutir à des déficits de l'ordre de 15 p.100 de l'ingestion. L'excès de sel augmente les pertes urinaires. Il faut faire attention à un éventuel excès de potassium qui induirait une grande fatigue musculaire. De plus, cela accélère la perte urinaire de sodium et entrave l'assimilation du magnésium.

➤ *Calcium et phosphore*

La minéralisation correcte de l'os impose de suivre les règles suivantes :

- apports suffisants de calcium et de phosphore assimilables
- rapport Ca/P adapté et toujours supérieur à 1
- fourniture de vitamine adéquate, sans excès.

Le calcium joue un rôle dans la prévention de « l'ostéofibrose du sportif » (avec douleurs articulaires et fragilité du squelette). En effet, la digestibilité et la rétention du calcium sont compromises par des excès alimentaires de phosphore chez le cheval de sport. La plupart du temps, les céréales et principalement l'avoine prennent une place prépondérante dans la ration du cheval ayant un niveau de travail intensif, exposant celui-ci à une hyperphosphorose. De surcroît, l'acidose chronique potentiellement engendrée par le travail musculaire contribue aussi au développement d'une ostéofibrose.

Il convient donc de renforcer les apports au delà des recommandations (0.30 à 0.35 p.100 de MS) : jusqu'à **0.7-0.8 p.100 de MS** de la ration pour le calcium en recherchant un **rapport Ca/P d'environ 1.8** pour le cheval au travail. Remarque : il peut être utile de lutter contre l'acidose métabolique.

➤ *Magnésium*

C'est un sédatif du système nerveux central et périphérique. La digestibilité est bonne mais diminuée par les excès de calcium, phosphore et potassium. Les besoins sont augmentés avec les rations hyperazotées et les régimes enrichis en lipides. La carence demeure rare car les fourrages sont normalement bien pourvus en magnésium. Les recommandations sont de l'ordre de **0.1 à 0.15 p.100 de MS** pour le cheval au travail.

II.A.2.e)(2)Oligo-éléments

Chez le cheval athlète, les oligo-éléments devraient être donnés en proportions doublées par rapport aux normes minimales afin d'augmenter les marges de sécurité et de contrecarrer la diminution de leur taux d'assimilation due à l'effet antagoniste de la surcharge en calcium. Certains d'entre eux ont un intérêt particulier et le Tableau 5 récapitule certaines caractéristiques. Les besoins sont récapitulés Tableau 7.

II.A.2.f)Les besoins en vitamines

Les vitamines sont groupées en deux classes qui reflètent leurs propriétés et les voies par lesquelles elles sont absorbées, stockées et excrétées (ELLIS et HILL ; 2005).

Les besoins semblent bien précisés pour les vitamines liposolubles mais relativement hypothétiques pour les vitamines hydrosolubles.

Si les recommandations envisagent des taux renforcés, il faut toutefois veiller à ne pas atteindre des excès qui conduiraient à des hypervitaminoses pour les facteurs liposolubles et à du gaspillage pour les facteurs hydrosolubles (WOLTER ; 1999).

II.A.2.f)(1)Vitamines liposolubles

La vitamine E présente un intérêt particulier. En effet, elle possède des propriétés anti-inflammatoires opposées à l'histamine et à l'acétylcholine. Son **pouvoir antioxydant** apparaît important puisque l'exercice physique stimule l'oxydation lipidique. A dose élevée, elle protégerait les hématies et augmenterait l'hématocrite, elle participerait également à la lutte contre certaines dégénérescences du système nerveux central. Avec le **sélénium**, la vitamine

E participe au maintien de l'intégrité musculaire et intervient dans la prévention de certaines myopathies. A l'entretien, les besoins seraient d'environ 10 mg (1 mg = 1 UI) par 100 kg de PV. Ils s'élèveraient jusqu'à 20 mg/100 kg en période de croissance ou de reproduction et encore davantage lors de travail intense. Ces besoins en vitamine E augmentent principalement avec le taux d'acides gras insaturés de la ration et sont atténués par la présence d'antioxydants et surtout de sélénium. Chez le cheval de compétition, des doses de 1000 UI ont été recommandées. Les autres vitamines liposolubles sont présentées dans le Tableau 6.

II.A.2.f)(2) Vitamines hydrosolubles

Dans les conditions normales, le cheval adulte ne semble pas présenter de carence en ces vitamines, celles-ci étant normalement synthétisées en quantité suffisante par la microflore digestive. Toutefois, les multiples implications, notamment des vitamines du groupe B, dans le métabolisme énergétique ou la formation des globules rouges laissent supposer que les besoins sont accrus chez le cheval de sport à l'entraînement intensif. Aussi, il n'est pas rare de retrouver une supplémentation dans certains aliments concentrés. Les vitamines méritant une plus grande attention notamment chez le sportif sont les suivantes : B1, B2, B5, B6, C, choline, PP et biotine (WOLTER ; 1999).

II.A.2.g) Les besoins en eau

Les besoins en eau du cheval sont normalement couverts par l'eau bue et par l'eau contenue dans les aliments. Lorsque la quantité d'aliments (exprimée en kg de matière sèche) augmente, la quantité totale d'eau consommée s'accroît également.

Les chevaux de sport au travail ont des besoins plus importants dus aux pertes hydriques liées à la sudation.

Ainsi, les exigences en eau de boisson, en plus de l'eau contenue dans les aliments, peuvent varier **de 20 à 75 L/cheval/j**.

La quantité d'eau bue est également influencée par la température ambiante : elle augmente de 0.3 à 1.0 litre par kg de matière sèche ingérée pour une température qui passe de 15 à 20 et 25 °C respectivement.

Bilan : les apports alimentaires recommandés

En pratique, les apports alimentaires sont dans la plupart des cas supérieurs aux besoins nutritionnels. Cependant, pour le cheval de selle effectuant un travail intense, il n'est pas toujours possible de façon ponctuelle de lui donner une quantité suffisante d'aliments pour satisfaire ses besoins sans risque sanitaire (digestif, métabolique...). Aussi, on peut admettre que ces animaux supportent un déficit en énergie, en MADC, en minéraux et oligoéléments..., limité et court (quelques jours lors d'une épreuve ou d'un entraînement intensif) et les apports alimentaires recommandés présentés ici tiennent compte de ces contraintes liées au travail mais aussi à l'aspect économique.

Certaines tables proposent des apports alimentaires journaliers totaux pour l'énergie, les matières azotées, les minéraux et les vitamines. Le Tableau 7 permet d'en visualiser les différents apports considérés comme optimaux pour un kilogramme de matière sèche d'aliment distribué à un cheval de sport en considérant la quantité totale de matière sèche ingérable quotidiennement présentée au Tableau 8. Ce rappel sur les besoins nutritionnels concerne le cheval de sport car il n'existe pas de données précises pour le cheval de concours complet.

Tableau 5 : Rôle des oligo-éléments, risques et manifestations de carence (WOLTER ; 1999).

Oligoéléments	PRINCIPALES FONCTIONS	RISQUE DE CARENCE	MANIFESTATIONS DES CARENCES
FER	facteur anti-anémique	très faible	<ul style="list-style-type: none"> • déficit de croissance, inappétence, anémie • fatigabilité, sensibilité aux infections
CUIVRE	facteur anti-anémique développement et résistance de l'os prévention de l'ostéochondrose élaboration des phanères (poil, corne)	élevé carence fréquente des fourrages renforcée par excès de molybdène, soufre	<ul style="list-style-type: none"> • excroissances cartilagineuses au niveau des boulets et des jarrets • décoloration des poils • baisse de la qualité de la corne
ZINC	ossification intégrité des téguments immunité	élevé carences fréquentes des fourrages défauts d'assimilation par excès en Ca, P, acide phytique, protéines de soja	<ul style="list-style-type: none"> • baisse de la fertilité • lésions cutanées (parakératose) • alopecie
MANGANÈSE	fertilité développement osseux	rare mais l'absorption peut être entravée par des excès en Ca, P, acide phytique...	<ul style="list-style-type: none"> • retard d'ossification chez le jeune • baisse de la fertilité chez les reproducteurs
COBALT	métabolisme de la microflore digestive	très faible	<ul style="list-style-type: none"> • baisse de l'état général
SÉLÉNIUM	rôle antioxydant dans l'organisme (avec la vitamine E)	faible à moyen en région à sol primaire (ex: Massif central)	<ul style="list-style-type: none"> • dystrophie musculaire, myopathie (poulain) • myopathie enzootique de l'adulte
IODE	synthèse des hormones thyroïdiennes reproduction - ossification	assez rare sauf si présence dans la ration de facteurs antithyroïdiens (choux, colza...)	<ul style="list-style-type: none"> • goître, retard de croissance • adynamie, frilosité

Tableau 6 : caractéristiques et fonctions des vitamines (WOLTER ; 1999).

	FONCTIONS	SOURCES	INTERÊT D'UNE SUPPLÉMENTATION
VITAMINE A	vision, protection des épithéliums, résistance "anti-infectieuse", croissance, reproduction.	fourrages verts <ul style="list-style-type: none"> • apports sous forme de carotènes • teneurs très variables suivant les conditions de récolte, de conservation 	OUI pour les animaux à besoins élevés : <ul style="list-style-type: none"> • reproducteurs • poulains surtout en fin d'hiver, avec foins médiocres ; pas d'hypervitaminose par les carotènes.
VITAMINE D	absorption intestinale de calcium minéralisation osseuse	foins séchés au soleil <ul style="list-style-type: none"> • synthèse cutanée grâce aux rayons ultraviolets solaires 	OUI si absence de foin et ensoleillement nul, MAIS : danger d'une supplémentation abusive
VITAMINE E	anti-oxydant ; protection du muscle, des graisses de réserve ("maladie de la graisse jaune")	herbe jeune, huiles végétales fraîches vitamine de synthèse	OUI surtout si ration riche en huiles oxydables : associer supplémentation en antioxydants et en sélénium
VITAMINE K	coagulation sanguine.	fourrages microflore digestive (antivitamine dans le foin moisi)	NON car synthèse digestive abondante, attention à un emploi abusif. (intoxication rénale...)
VITAMINES B	toutes les réactions métaboliques (protéines, glucides, lipides), protection hépatique, cutanée... élaboration de l'hémoglobine...	fourrages verts céréales levures sèches	NON sauf chez les chevaux de compétition par souci de sécurité
VITAMINE C	régularise la synthèse osseuse, les réactions anti-stress ...	herbe fraîche... synthèse hépatique	NON sauf à titre diététique, en cas de stress sévères, prolongés et répétés.

Tableau 7 : Apport alimentaire recommandés pour la ration des chevaux (par kg de matière sèche pour la consommation de matière sèche figurant Tableau 8) (INRA ; 1990).

	Repos, travail léger	Travail moyen
Energie : UFC	0.45-0.70	0.50-0.75
Azote : MADC (g)	30-50	40-55
Macroéléments (g)		
Calcium	3.1	2.9
Phosphore	1.9	1.6
Magnésium	0.9	0.9
Sodium	2.7	3.2
Potassium	4.0	5.0
Soufre	1.5	-
Oligo-éléments (mg) ⁽¹⁾		
Fer	80-100	80-100
Cuivre	10	10
Zinc	50	50
Manganèse	40	40
Cobalt	0.1-0.3	0.1-0.3
Sélénium	0.1-0.2	0.1-0.2
Iode	0.1-0.3	0.1-0.3
Vitamines ⁽²⁾		
Vitamine A (UI)	3250	3750
Vitamine D (UI)	400	600
Vitamine E (UI)	8	10
Thiamine (mg)	2.5	2.5
Riboflavine (mg)	4.0	4.0
Niacine (mg)	12	12
Acide pantothénique (mg)	5.0	5.0
Pyridoxine (mg)	1.3	1.0
Choline (mg)	65	60
Acides foliques (mg)	1.3	1.2
Cyanocobalamine (µg)	13	12

Les apports alimentaires de la ration pour les chevaux effectuant un travail intense devraient être accrus d'environ 35 à 40 p.100 par rapport à celle retenue au repos en raison de la diminution du volume de la ration.

(1) Les apports recommandés en oligo-éléments sont ceux proposés par Meyer (1981) en RFA

(2) Les apports recommandés en vitamines sont ceux proposés par WOLTER (1975).

II.A.3 Bases du rationnement

Le rationnement consiste à choisir des aliments et à en calculer les quantités nécessaires à distribuer pour apporter aux animaux tous les éléments nutritifs dont ils ont besoin. La ration ainsi constituée doit **couvrir les dépenses d'entretien et de production** et maintenir les animaux en **bonne santé**.

II.A.3.a) Notions de poids vif et d'état corporel

Le poids vif étant la valeur la plus sûre et la mieux connue, le rationnement alimentaire s'effectue en fonction de cette notion. Dans la plupart des cas le poids vif des chevaux ne peut être estimé car on ne dispose pas systématiquement d'une balance. Cependant, la prise en compte de deux mensurations : le périmètre thoracique et la hauteur au garrot ; peut permettre une bonne estimation du poids vif de l'animal par l'utilisation de la formule suivante :

Poids vif (kg) = a x PT (cm) + b x HG (cm) + c ; avec PT périmètre thoracique, HG hauteur au garrot.

a, b et c sont des coefficients qui varient selon le type (race de selle, race lourde) et le statut physiologique du cheval (poulinière, jeune en croissance, cheval au travail...). En effet, ces paramètres ont amené à ajuster les coefficients pour limiter les erreurs de calculs. Ainsi, dans le cas du cheval de concours complet (race de selle, cheval adulte au travail), la formule retenue est la suivante :

Poids vif (kg) = 4,3 x PT + 3,0 x HG - 785
(± 26 kg)

L'état corporel est une notion plus globale qui caractérise l'état d'engraissement des chevaux. C'est un bon indicateur de la qualité du rationnement et de l'état des réserves corporelles. Il est estimé à l'œil nu et à la palpation de certaines zones. Une note d'état est attribuée entre 0 et 5 pour le système français (cf. Figure 24), l'optimum étant de 3 (± 0,5 selon le type de cheval) (INRA ; 1990). Le système américain attribue des notes de 1 à 9 (Body scoring system).

II.A.3.b) Notions d'encombrement ou ingestibilité (INRA ; 1990)

La quantité d'aliments qu'un cheval peut ingérer varie avec les caractéristiques des aliments et de l'animal. De ce fait, les quantités apportées doivent permettre de couvrir les besoins d'entretien et les besoins de production mais aussi de rassasier le cheval tant sur le plan physiologique que psychique sans pour autant provoquer des troubles digestifs.

Ainsi, un cheval de selle de 500 kg peut consommer à l'entretien une quantité de 60 à 80 kg d'herbe contenant 15% de matières sèches alors qu'il ne peut ingérer que 12 kg de foin contenant 85% de matières sèches. C'est pourquoi, il est indispensable de se baser sur la **quantité de matières sèches consommées** pour pouvoir **prévoir et comparer** les quantités d'aliments que le cheval peut ingérer. De plus, des variations inhérentes au statut physiologique de l'animal (jeune en croissance, race lourde/cheval de selle, étalon, jument...) interviennent également pour un même aliment.

Aussi, l'ingestibilité d'un aliment correspond à la quantité d'aliment qu'un type de cheval donné peut spontanément ingérer lorsque celui-ci est proposé seul à volonté (cf. Tableau 8). Elle est exprimée en kg de matière sèche pour 100 kg de poids vif (INRA ; 1990).

Tableau 8 : Niveau de consommation en kg de MS pour 100 kg de PV (WOLTER ; 1999)

	NRC	INRA
ENTRETIEN	1.5-2	1.4-1.7
TRAVAIL		
<i>Léger</i>	1.5-2.5	1.9-2.3
<i>Moyen</i>	1.7-2.5	2.1-2.7
<i>Intense</i>	2-3	2-2.4

Les valeurs les plus faibles seront choisies pour une alimentation riche en concentré, les plus fortes pour maximiser la consommation de fourrage.

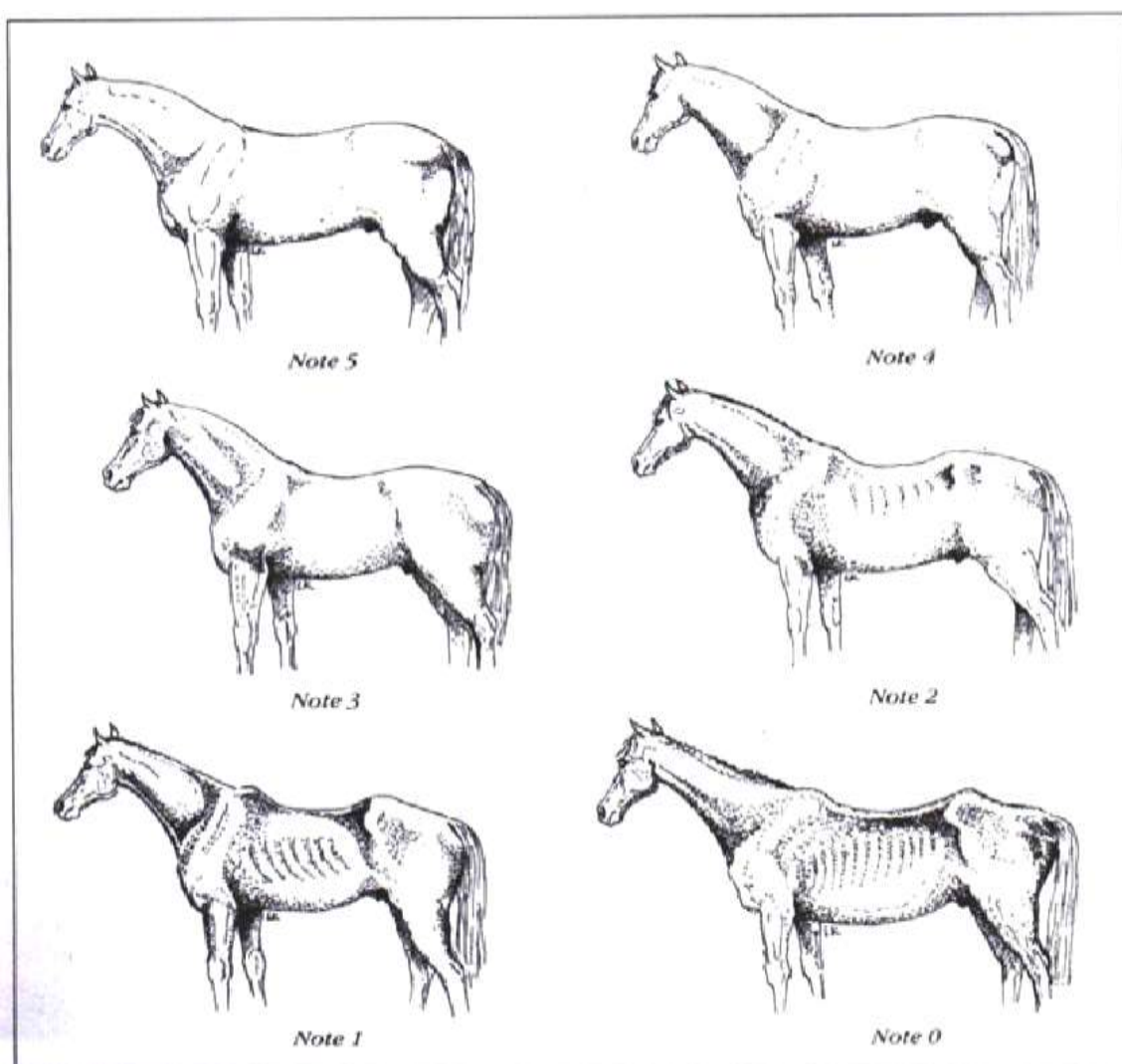


Figure 24 : Notation de l'état corporel des chevaux de selle et de sport (LAUNOIS ; 2001).

D'une façon générale, le niveau moyen de consommation se situe aux environs de 2 kg MS/100 kg de PV. En fonction de l'augmentation des besoins physiologiques, il peut s'élever jusque 3 kg MS/100 kg de PV.

II.A.3.c) Les différents types d'aliments

Il existe une grande variété d'aliments pour nourrir le cheval. Leur valeur nutritive dépend de leur composition chimique qui varie selon la nature de l'aliment, les conditions de récolte et de conservation ainsi que les éventuels traitements (INRA ; 1990). L'étude de Le Coz Bunel (2006) a permis d'estimer le type d'alimentation que reçoivent les chevaux de CCE. Il en ressort que la plupart des écuries interrogées proposent des aliments grossiers tels que fourrages et sous produits de culture ainsi que des aliments concentrés soit matières premières soit composés industriels.

II.A.3.c)(1) Les aliments grossiers

➤ *Les fourrages*

Ils correspondent à la récolte de l'appareil végétal aérien incluant tiges, feuilles et épis avec ou sans graines et quelque soit leur stade de maturité. Pour être de bonne qualité, ils doivent être récoltés tôt. On distingue les fourrages verts, contenant de 12 à 30% MS, et les fourrages conservés, constitués essentiellement par les foins, contenant de 84 à 92% MS.

Les différentes méthodes de récolte et de conservation sont à l'origine de pertes variables mais sélectives (sucres et matières azotées du contenu cellulaire) par rapport à la plante fraîche juste coupée. Aussi la valeur nutritive d'un foin ou du fourrage déshydraté est toujours inférieure à celle du fourrage vert sur pied correspondant. On distingue les foins de graminées, les foins de légumineuses (à teneur plus élevée en matières azotées et calcium mais plus faible en valeur énergétique) et le foin dit de Crau (mélange de graminées, légumineuses et espèces diverses des Bouches-du-Rhône, soumis à des normes). Seule la déshydratation de la luzerne ou du maïs plante entière présente un intérêt chez le cheval (coût de fabrication).

Le **foin de prairie** semble être le plus largement utilisé. Parfois, le foin de luzerne ou l'enrubanné peuvent être fournis (Le Coz Bunel ; 2006).

➤ *Les sous-produits de culture*

Les **pailles** sont principalement utilisées pour constituer la litière. Parfois elles sont distribuées comme deuxième fourrage après le foin (Le Coz Bunel ; 2006). Les pailles d'orge et de blé sont les plus représentées. Elles ont une faible valeur énergétique (0.26 à 0.33 UFC/kg MS), des teneurs en MADC nulles et sont presque totalement dépourvues de minéraux, d'oligo-éléments et de vitamine A.

II.A.3.c)(2) Les aliments concentrés

Ils sont toujours présents dans la ration du cheval de CCE que ce soit par des mélanges de matières premières ou des aliments industriels. Le nombre de repas quotidiens peut varier de 2 à 4 selon les écuries (Le Coz Bunel ; 2006)

➤ *Les aliments simples*

Il s'agit des matières premières qui peuvent subir plusieurs traitements et ensuite être incorporés dans des aliments composés ou être distribuer seul. Dans les rations, on retrouve soit les grains de céréales avec notamment l'avoine, le maïs et l'orge soit des aliments composés sous forme de granulés ou de floconnés. Parfois, certaines écuries distribuent des tourteaux qui sont des sous produits de graines oléagineuses ou des graisses (Le Coz Bunel ; 2006). Seuls ces aliments vont être développés même s'il en existe bien d'autre (INRA ; 1990, WOLTER ; 1999).

- Les grains de céréales

Ils sont riches en énergie qui est stockée sous forme d'amidon (40 à 75 p.100 de la MS), présente une valeur azotée de 80 à 100 g MADC/kg MS et sont relativement déséquilibrés sur le plan minéral (teneur faible en calcium et rapport Ca/P entre 0.10 et 0.25). Les principales céréales exploitées sont l'avoine, le maïs et l'orge puis on peut retrouver le blé, le seigle, le sorgho et le riz. Les grains d'avoine peuvent être distribués entiers mais on préfère concasser ou aplatir les grains durs tels que l'orge et le maïs. D'autres traitements (thermiques, germination) peuvent être réalisés.

- Les sous-produits des graines oléagineuses

Les tourteaux sont d'excellentes sources de matières azotées (200 à 500 g MADC/kg MS), bien équilibrés en acides aminés sauf parfois en acides aminés soufrés. Ils ont une valeur énergétique intéressante (0.80 à 1.14 UFC/kg MS) et sont bien pourvus en phosphore et magnésium. Le tourteau de lin est très utilisé pour ses propriétés hygiéniques pour le tube digestif, les tourteaux de soja et d'arachide pourtant intéressants sont moins utilisés pour cause de prix élevé et on leur préfère le tourteau de tournesol moins riche en matières azotées mais dont le coût est plus raisonnable.

- Les graisses végétales ou animales

Dans le cadre de l'alimentation du cheval de sport, on peut retrouver parfois des graisses animales (saindoux...) et plus fréquemment des graisses végétales (huile de tournesol, de maïs, de soja...) incorporées dans la ration. Elles représentent des sources majeures d'énergie au cours de l'effort d'endurance avec une valeur énergétique élevée (2.90 UFC/kg MS pour les graisses animales et 3.16 UFC/kg MS pour les graisses végétales). Elles sont très bien tolérées lorsqu'elles sont incluses à raison de 10 à 15 p.100 dans un aliment composé. Dans l'étude de Le Coz Bunel (2006), les écuries qui fournissent des graisses choisissent de l'huile végétale (colza ou type Isio4®) et le mode de distribution est variable (toute l'année, pendant la saison de concours,...)

➤ *Les aliments composés complets*

Ces aliments apportent **la totalité des nutriments nécessaires** à la couverture des besoins en proportion adéquate et peuvent se substituer intégralement aux rations traditionnelles.

On retrouve comme matières premières majeures :

- des aliments à **dominante énergétique** : grains et leurs sous-produits
- des aliments à **dominante azotée** : tourteaux et graines de légumineuses
- des aliments **cellulosiques** : farines de luzerne, de foin de graminées ou de paille, balles de céréales.

En général, ils renferment 11 à 15 p.100 de matières azotées (protéines brutes indiquées sur l'étiquette), 15 à 20 p.100 de cellulose brute et 10 à 12 p.100 de matières minérales. La valeur énergétique varie de 0.80 à 0.90 UFC/kg MS.

Un **complément minéral vitaminique** (CMV) est ajouté à chaque formule et apporte ainsi les vitamines indispensables et mal représentées dans les matières premières (vitamines A, D3, E et accessoirement des vitamines du groupe B) et un équilibre sur le plan minéral de la ration.

Leur emploi doit être raisonné en fonction du type d'animal, de la nature et de l'importance des besoins nutritionnels à satisfaire.

II.A.3.c)(3) Les compléments (minéraux, vitamines...)

Lorsque la ration est traditionnelle (mélange de grains de céréales), il est recommandé d'ajouter un CMV pour corriger les déséquilibres minéraux.

Certaines écuries apportent aussi régulièrement des **préparations électrolytiques** après l'effort et notamment le cross. Enfin, des compléments sont parfois ajoutés pendant la saison de concours comme des mélanges d'oligoéléments, des composés apportant surtout de la vitamine E et du sélénium, et des compléments médicamenteux favorisant la production de globules rouges ou le tonus musculaire pendant la préparation des grosses épreuves (Le Coz Bunel ; 2006).

II.A.3.d) Calcul théorique d'une ration

« Calculer des rations : c'est choisir des aliments, déterminer leurs proportions dans la ration et les quantités à distribuer » (INRA ; 1990).

Avant de se lancer dans des calculs, il faut tout d'abord déterminer le poids du cheval et son état corporel, puis son statut physiologique (repos, nature et type de travail...). Ensuite, on peut déterminer les apports alimentaires recommandés en énergie et en matières azotées ainsi que la consommation en matière sèche journalière. Ainsi, la ration journalière optimale doit fournir les quantités d'énergie (X, UFC) et de matières azotées (Y grammes de MADC) correspondant aux apports alimentaires quotidiens totaux recommandés en rapport à la quantité de matière sèche consommée.

Un kilogramme de matière sèche de cette ration comporte des teneurs en énergie de X/consommation MS et en matières azotées de Y/consommation MS.

On choisit la valeur limite inférieure de consommation de matière sèche si on veut distribuer peu de fourrages et celle supérieure si on souhaite donner beaucoup de fourrages.

La méthode graphique de calcul d'une ration proposée par l'INRA permet de choisir les aliments (fourrages et aliments concentrés) et les quantités à distribuer selon les teneurs en énergie et matières azotées qu'on a calculées pour une ration optimale.

En principe, on reporte en abscisses les UFC/kg MS et en ordonnées les g MADC/kg MS de la ration optimale calculée. Si la ration se compose d'un fourrage et d'un aliment concentré, on choisit le fourrage et on détermine les caractéristiques de l'aliment complémentaire (C) (il doit se trouver sur la droite reliant le point de la ration optimale (R) et celui de la ration à base de fourrage (F)). Par des mesures de distances, on trouve les pourcentages de fourrage et d'aliment à distribuer. Le calcul pour des rations à base de plusieurs aliments est assez similaire. On choisit l'aliment que l'on veut utiliser en priorité et on tente de choisir un mélange des autres aliments en fonction de leur teneur en UFC et MADC pour se rapprocher le plus de la droite passant par R et F.

Exemple : une ration optimale doit avoir des teneurs de 0.66 UFC/kg MS et 55 g MADC/kg MS. On dispose d'un foin à 0.52 UFC/kg MS et 40 g MADC/kg MS. On choisit un aliment à 1.16 UFC/kg MS et 92 g MADC/kg MS. Les pourcentages de F et C sont déterminés par : % F = [CR]/[CF] et % C = [FR]/[FC]. On peut également résoudre le système d'équations suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.52 f + 1.16 c = 0.66 * 100 \\ c = 100 (\text{ration totale}) - f \end{array} \right\}$$

f : % de fourrage dans la ration

c : % de concentré dans la ration

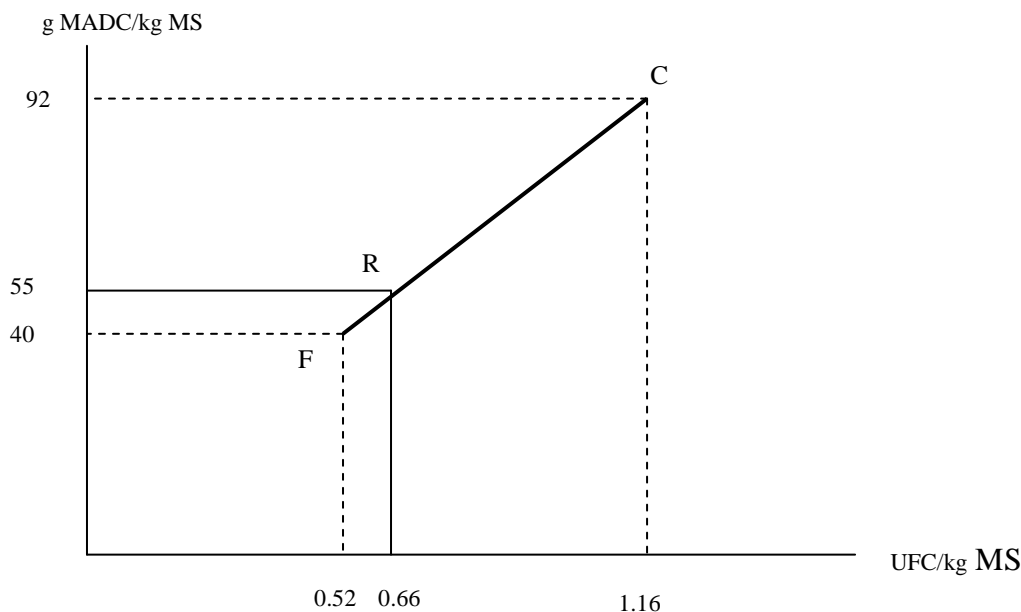


Figure 25 : représentation graphique utilisée pour la méthode de calcul graphique d'une ration journalière (INRA ; 1990)

Au plan pratique, il faut pouvoir distribuer l'aliment en kilogramme brut :

Quantité d'aliments (kg brut) = A/B

A : Quantité d'aliments en kg MS

B : Quantité de MS de l'aliment considéré.

Les principaux éléments nécessaires au calcul ainsi que les résultats obtenus peuvent être reportés sur une fiche de rationnement (Figure 26).

La ration doit aussi être équilibrée d'un point de vue minéral et vitaminique.

La différence entre les recommandations et les apports réalisés (cf. fiche de rationnement) nous permet d'évaluer s'il y a déficit ou excès. Un excès de calcium jusqu'à 15 p.100 peut être toléré si les apports recommandés en phosphore sont satisfaits au minimum. Un déficit d'un ou des deux éléments peut être corrigé à l'aide d'un CMV. On détermine le rapport Ca/P de ce déficit et on choisit un CMV ayant un rapport égal ou légèrement supérieur. Ceux-ci sont définis selon leur teneur qui est reportée sur l'étiquette : un CMV 7-12 contient 7 g de phosphore et 12 g de calcium pour 100 g.

Pour le sodium, le mieux est de laisser une pierre à lécher à disposition.

Les apports recommandés en magnésium et en oligo-éléments peuvent aussi être calculés et en comparant avec les apports effectués, on vérifie le taux de satisfaction des besoins. Il en est de même pour les vitamines. Il suffit ensuite de s'assurer que le CMV choisi pour compléter en calcium et phosphore assure également la couverture en magnésium, oligo-éléments et vitamines. Si ce n'est pas le cas, il faut trouver un autre CMV mieux adapté.

En pratique, les aliments industriels sont le plus souvent bien complétés en minéraux et vitamines et ne nécessitent pas l'utilisation supplémentaire de CMV. De plus, il existe désormais de multiples gammes à destination des chevaux de tout type (jeunes en croissance, poulinières, cheval de course, cheval d'endurance, cheval de complet...) et les apports sont d'autant mieux ajustés par rapport au statut physiologique.

FICHE DE RATIONNEMENT

Date
 Poids vif (kg) :
 Age : mois an(s)

N° Identification ou Nom
 Type d'animal :

Valeur nutritive aliments par kg MS						Quantités kg MS	Apports nutritifs aliments par jour				
Aliments	UFC	MADC (g)	Ca (g)	P (g)	Mg (g)		UFC	MADC (g)	P (g)	Ca (g)	Mg (g)
						x =					
						x =					
						x =					
						x =					
Apports journaliers totaux calculés (1)											
Apports journaliers recommandés (2) (Tableaux Chapitres 3 à 7)											
Différence (1) - (2)											

Composition de la ration en matière brute

Aliments	Quantité (kg MS) (1)	Teneur en MS * (2)	Quantités (kg brut) (3) = (1) : (2)	Prix/kg (4)	Prix/jour (3) × (4)
Total					

Figure 26 : Fiche de rationnement (INRA ; 1990).

L'essentiel :

* Les équidés présentent des **particularités anatomiques** de leur tractus gastro-intestinal qui imposent quelques règles pour leur nutrition : un faible volume stomacal, une cuve à fermentation (colon + caecum) moins efficace que les ruminants, et des zones de rétrécissement pouvant être à l'origine de diverses pathologies...

* La digestion des aliments se fait à plusieurs niveaux tout comme l'absorption des nutriments. La physiologie digestive oblige à respecter des règles pour une bonne alimentation des chevaux de sport : apport d'énergie suffisante sans surcharge glucidique (production de lactates), apport d'azote sans excès (augmentation de l'ammoniémie,...), etc.

* Les aliments doivent combler les **besoins nutritionnels d'entretien et de production** : les apports d'énergie, d'azote, de lipides, de minéraux, de vitamines et d'eau doivent être ajustés au mieux pour éviter toute carence ou excès. Les besoins en fibres sont également à considérer chez les chevaux de sport principalement pour le bien-être mental et pour l'hygiène digestive qu'elles confèrent.

* De ces constatations découlent des méthodes de rationnement qui se calculent à partir du poids vif de l'animal. La notion d'encombrement indique qu'il faut se baser sur la **quantité de matières sèches consommées**. A partir de là, les différents types d'aliments à disposition peuvent permettre de couvrir les besoins de chaque individu avec plus ou moins l'apport de compléments.

* Il est donc possible au vue des connaissances actuelles de préparer théoriquement une ration alimentaire adaptée à chaque « type » de cheval. Néanmoins, la mise en pratique quotidienne pour un cheval de sport et plus particulièrement de CCE comporte quelques bémols...

II.B.Bases pratiques de l'alimentation du cheval de CCE

Les bases théoriques de l'alimentation permettent de déterminer avec autant de précision que possible les apports recommandés selon le type de cheval (jeune en croissance, jument gestante, cheval au travail...) en s'appuyant sur les connaissances physiologiques actuelles. L'utilisation comme cheval de CCE a des conséquences sur la gestion au quotidien dont il faut tenir compte pour prévenir l'apparition de certaines pathologies.

Aussi, après avoir explicité le comportement alimentaire naturel du cheval, nous verrons les conséquences pratiques que cela impose sur le rationnement alimentaire ainsi que les quelques pathologies plus spécifiques du cheval de CCE.

II.B.1.Comportement alimentaire

Le comportement alimentaire du cheval correspond à l'habitus alimentaire acquis par l'espèce au cours de l'évolution. Il en résulte un régime alimentaire particulier puisque le cheval est un herbivore monogastrique.

Au pré, la prise alimentaire représente environ 50 à 60 % des occupations du cheval sur une journée de 24 heures mais celle-ci peut être plus importante si la pâture est de mauvaise qualité.

Au box, si le foin est proposé à volonté, le temps consacré à la prise alimentaire est sensiblement le même que pour un cheval au pré. En revanche, si des granulés sont proposés à volonté, la durée de prise alimentaire diminue nettement. Il est donc important de conserver un fourrage dans l'alimentation du cheval pour se rapprocher au mieux de son comportement alimentaire naturel. Cependant, ceci n'est pas toujours appliqué dans les écuries modernes par manque de temps ou de personnels ce qui peut être mis en relation avec le développement de certains troubles du comportement.

L'utilisation actuelle de l'animal dans le cadre du concours complet d'équitation n'est plus en adéquation avec une alimentation en pâturage qui ne permet pas de couvrir les besoins nutritionnels engendrés. Aussi, il est nécessaire de prendre en considération le comportement alimentaire naturel ainsi que la physiologie digestive de ce dernier pour pouvoir établir au mieux une ration alimentaire couvrant ses besoins sans risquer l'apparition de pathologies (LE COZ BUNEL ; 2006).

II.B.2.Conséquences pratiques sur les apports alimentaires

La plupart des chevaux de CCE passent la majeure partie de leur temps au box. Pour se rapprocher au mieux de leur comportement alimentaire naturel tout en fournissant les apports recommandés, il est nécessaire d'adopter une certaine hygiène alimentaire que ce soit « à la maison » ou en concours. De nombreuses études ont d'ores et déjà été menées sur l'effet de divers régimes spécifiques que ce soit sur l'apport d'énergie (glucides, lipides, protéines) ou sur la supplémentation en électrolytes. Que doit-on en penser et faut-il supplémenter les chevaux de CCE ?

II.B.2.a)Hygiène alimentaire

➤ *Quantité et qualité des aliments apportés*

Le cheval est avant tout un herbivore monogastrique. Ainsi, l'apport de foin est indispensable à la fois pour son effet de lest et d'apport de fibres mais aussi pour l'occupation qu'il procure au cheval.

Le volume de l'estomac étant réduit, la quantité de concentrés apportés par repas doit être limitée. En effet, une quantité trop importante peut être une cause de pathologie digestive (ulcères gastriques, surcharge de l'estomac,...). Il faut donc que la composition du concentré soit judicieusement choisie pour apporter en un petit volume le maximum d'énergie sans provoquer de troubles de la digestion (le cheval de CCE ayant des besoins énergétiques importants par rapport à d'autres activités).

La qualité des aliments repose tant sur leur composition que sur leur méthode de conservation. En effet, un bon foin mal stocké peut être contaminé par des moisissures, des déjections d'animaux... Un foin de mauvaise qualité peut contenir des plantes épineuses, du sable, de la terre... Les concentrés mal conservés peuvent servir de nourriture aux rongeurs qui urinent et défèquent au milieu de ceux-ci (certaines maladies sont véhiculées ainsi). Les granulés riches en acides gras peuvent s'oxyder s'ils ne contiennent pas d'antioxydants (naturels ou artificiels) et leur distribution est nettement moins intéressante (l'impact est à la fois nutritionnel : dégradation des vitamines liposolubles et AGE... ; et sanitaire : les composés secondaires peuvent être cytotoxiques ou mutagène (RAHMANI ; 2010)).

La mise à disposition d'une pierre à lécher (NaCl +/- autres macro ou oligo-éléments) peut être un choix judicieux chez les chevaux qui suent beaucoup ou qui effectuent un travail avec de fortes pertes sudorales. En règle générale, les animaux se régulent et ne font pas d'excès. Il pourrait être, à ce moment-là, intéressant pour des individus recevant la même alimentation de comparer la consommation de ces blocs à lécher.

Tous ces facteurs sont importants à prendre en considération quand il s'agit de la nutrition de chevaux de CCE puisque leur performance repose sur leur bon état général et donc ainsi sur l'hygiène alimentaire.

➤ *Mode de distribution des aliments*

Au plan pratique, les fourrages seront distribués de préférence avant les aliments concentrés. En effet, la mastication du foin assure une production de salive trois fois plus importante que pour les concentrés ce qui tend à diminuer l'acidité de l'estomac. Ainsi, les concentrés ne sont pas pré-digérés trop rapidement et seront moins à l'origine d'ulcères. En revanche, le mode de distribution des fourrages a moins d'importance car ceux-ci sont digérés progressivement dans le gros intestin.

Il est également souhaitable de **fractionner** les repas pour limiter les périodes de jeûne et l'ennui du cheval qui séjourne principalement au box. On laissera également une période de tranquillité après la distribution des concentrés pour permettre une digestion optimale et limiter certains facteurs de risques (cf. ulcères gastriques).

Le choix d'un box en copeaux ou en paille est discutable. En effet, certains chevaux ont tendance à se gaver de paille s'ils s'ennuient et le risque principal est alors une impaction du côlon ascendant (« bouchon de paille »). Dans ce cas, les copeaux peuvent empêcher une surconsommation mais il faut alors veiller à ce que le cheval n'en mange pas... Cependant, si le paillage est fait de manière régulière, que le mode de distribution des aliments est bien respecté et que les animaux sortent quotidiennement, les risques de surconsommation sont moins élevés. De la même façon, la qualité de la paille (différente selon la céréale) et son stockage sont des éléments à contrôler.

Il est indispensable de fournir de l'eau de boisson à volonté dans des abreuvoirs ou des bacs propres (un crottin dans l'abreuvoir peut empêcher le cheval de boire...) et de vérifier régulièrement le bon remplissage de ceux-ci. De la même façon, il faut prendre garde l'hiver au problème de gel ou d'eau trop froide qui peut limiter la consommation.

➤ *Gestion de l'alimentation en concours*

Les horaires de passage lors des concours peuvent modifier l'heure habituelle des repas pour le cheval. En effet, quand les épreuves ont lieu sur une journée, il est parfois difficile de respecter un moment de repos après la distribution des concentrés. Dans ce cas, il vaut mieux donner du foin et compenser sur le repas après l'épreuve. L'ingestion de foin peut alourdir le tube digestif ce qui est plus péjoratif pour l'épreuve de cross que pour le dressage ou le saut d'obstacle. La consommation d'eau doit être favorisée et vérifiée surtout après le cross. En effet, le goût de l'eau peut être variable selon les régions, selon l'ajout de sel ou selon l'ajout d'une solution électrolytique (cf. partie c)) ce qui peut être responsable d'un abreuvement insuffisant. Cette tendance peut être palliée grâce à l'ajout régulier d'arômes de type jus de pomme ou de carotte qui vont favorablement masquer le goût de l'eau.

D'une façon générale, un concours est un phénomène stressant pour le cheval. Il faut donc tenter de respecter dans la mesure du possible les pratiques alimentaires mises en place dans ses écuries. On surveillera d'autant plus un individu qui aurait manqué un repas de concentrés, qui aurait mangé beaucoup de paille, qui aurait peu bu... Il est tout à fait possible de distribuer un aliment spécifique (pour les efforts type CCE voire endurance) pendant le temps du concours mais aux vues des contraintes techniques et économiques, ceci est plutôt réservé au haut niveau (international).

II.B.2.b) Les régimes alimentaires spéciaux

Les supplémentations chez les athlètes humains de haut niveau sont très pratiquées et permettent d'obtenir de bons résultats (stockage en glycogène...). Chez le cheval, un certain nombre d'études a été réalisé notamment chez les chevaux de course, que ce soit en endurance ou en sprint. Des conclusions intéressantes ont donc été tirées selon le type de supplémentation. Néanmoins, il ne faut pas oublier la difficulté de tels apports compte tenu de la fragilité du tube digestif du cheval.

➤ *Supplémentation en glucides*

La disponibilité en glucose et le stockage en glycogène dans les muscles sont des facteurs déterminants des performances durant des exercices modérés à intenses. Chez l'homme, l'optimisation des réserves glycogéniques dépend de l'alimentation du sujet. Le régime hyperglucidique (70 % de glucides) est désormais préféré au régime dissocié scandinave. Il est réalisé plusieurs jours avant la compétition après une déplétion importante (voire totale) de glycogène à l'entraînement (POORTMANS et BOISSEAU ; 2004).

Certaines études montrent que le temps avant épuisement chez des chevaux courant à 10-12 km/h diminue de 35 % quand la quantité de glycogène intramusculaire est 70 % inférieure à sa valeur normale (d'après GEOR ; 2008). De même, il a été démontré qu'une augmentation de la disponibilité en glucose sanguin augmente les performances des chevaux lors d'exercice d'intensité modérée. D'autres travaux insistent sur le fait qu'une supplémentation par voie intraveineuse permettrait de reconstituer les stocks en glycogène musculaire rapidement après un effort (GEOR et al. ; 2006) contrairement à l'apport par voie orale.

Ces conclusions ont certes généré un intérêt dans le développement d'une stratégie nutritionnelle pour les chevaux d'endurance, afin d'optimiser le stockage en glycogène intramusculaire avant l'exercice et la disponibilité du glucose pendant l'exercice, mais restent peu utilisées dans le cadre du concours complet.

➤ *Supplémentation en lipides*

Les lipides représentent une très bonne source d'énergie pour le cheval de sport. De plus en plus d'études s'intéressent à l'effet d'un régime alimentaire riche en lipides sur le métabolisme et les performances sportives des chevaux.

Une supplémentation en acides gras est à l'origine de nombreux changements dans le métabolisme lipidique des chevaux. En effet, la supplémentation sous forme d'huile végétale diminuerait la concentration plasmatique en triglycérides et augmenterait l'activité de la lipoprotéine lipase libérable par héparine (ORME et al. ; 1997, GEELLEN et al. ; 1999).

Geelen et al. (2001) ont aussi montré que la baisse des triglycérides plasmatiques lors d'une supplémentation en acides gras chez des poneys était associée à une diminution de la synthèse endogène d'acides gras comme en témoigne la baisse d'activité de l'acétyl-CoA carboxylase et du complexe multi enzymatique acide gras synthase hépatiques. De plus, cette supplémentation serait corrélée à une élévation de l'activité de la citrate synthase du muscle masseter, hautement oxydatif, et de la carnitine palmitoyltransferase-I (GEELLEN et al. ; 2001).

Certaines études récentes ont mis en évidence que les échanges respiratoires étaient moindres chez des chevaux soumis à ce régime pendant un exercice d'intensité faible à modérée. D'autres travaux ont montré qu'un ajout d'huile de maïs était concomitant à une augmentation du cholestérol plasmatique et l'apport d'huile de poisson à une baisse des triglycérides plasmatiques (O'CONNOR et al. ; 2007).

Il semblerait que la supplémentation en matières grasses améliore l'oxydation des lipides et épargne l'utilisation des carbohydrates endogènes (glucose sanguin et glycogène intramusculaire).

Néanmoins, les effets de tels régimes sur le métabolisme et les performances restent controversés de part la grande variabilité dans la conception des études et les résultats obtenus sur de nombreuses variables physiologiques (PÖSÖ et al ; 2008, DUNETT et al. ; 2002).

➤ *Régime hyperprotéiné*

La relation entre une alimentation enrichie en protéines et les performances est loin d'être évidente.

Un régime riche en protéines pourrait apporter des avantages métaboliques aux chevaux à l'effort. En effet, certaines études montrent que le quotient respiratoire est plus faible chez des chevaux recevant un régime hyperprotéiné et effectuant un exercice intensif (PAGAN et al. ; 1997). D'autres indiquent que la concentration en lactate est moins élevée pour un effort intense, ce qui laisserait supposer un catabolisme du glucose moins important (FRAPE ; 2005).

Néanmoins, l'excès de protéines est oxydé et il en résulte une production d'urée, de chaleur (corrélée à une augmentation de la sudation) et d'acides (certains acides aminés libèrent des protons H^+ lorsqu'ils sont métabolisés) plus élevée (LEWIS ; 1995). Ainsi, l'effort associé à un régime hyperprotéiné contribue à l'acidose métabolique (GRAHAM-THIERS et al. ; 2001). Une telle alimentation compromet donc la balance acido-basique (cf. 3.h)). De plus, l'augmentation de la production d'urée peut être corrélée à une élévation de l'ammoniémie, contribuant à un stress respiratoire (les marathoniens ont pour habitude de boire après une course longue distance une solution à base de glutamine pour diminuer la fréquence des infections respiratoires. Il semblerait qu'une forte déplétion en glutamine puisse survenir lors de tels efforts et que cette dernière aurait une place importante dans le système immunitaire. Il n'existe pas de telles données chez le cheval) (FRAPE ; 2005).

L'augmentation de la sudation est souvent rapportée lors d'un apport protéique très important. Pourtant, il semble que l'évaluation de la composition de la sueur, et notamment en protéines, n'ait pas été déterminée avec précision pour des régimes hyperprotéinés.

La proportion de protéines dans la ration doit donc être équilibrée pour procurer les avantages métaboliques souhaités et limiter l'oxydation des excès.

Les travaux de Le Coz Bunel (2006) nous donnent certaines données sur les apports alimentaires des chevaux de CCE en France. Ainsi, les rations contiennent en moyenne 97 g MADC/UFC pour une consommation maximale (saturation de la capacité d'ingestion) alors que les recommandations de l'INRA sont de 70 g MADC/UFC.

II.B.2.c) Le remplacement des pertes hydro-électrolytiques

Les pertes hydriques sont remplacées très rapidement après l'effort dès que le cheval a accès à de l'eau. En général, le remplacement est effectif quand le cheval retrouve un poids corporel proche de celui mesuré avant l'exercice.

Les électrolytes sont en général apportés par l'alimentation mais un moyen plus efficace de combler les pertes rapidement consiste en l'apport d'eau isotonique ou de compléments électrolytiques dans l'eau. Ainsi, Marlin et al. (1998) concluent que l'apport d'une solution orale isotonique après l'effort (10 minutes pas-40 minutes trot-10 minutes pas, plan incliné à 3%, 3°C/80% humidité relative) a permis aux chevaux testés de restaurer la quantité d'eau et chlorure de sodium corporels plus rapidement que les chevaux témoins. Les publications récentes mettent en évidence que les solutions électrolytiques doivent contenir en concentration optimale les éléments perdus lors de la sudation. Il s'agirait donc principalement des ions Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} et Mg^{2+} . L'ajout de dextrose assurerait un meilleur transport des ions Na^+ et Cl^- au niveau intestinal. Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} doivent être fournis sous forme de lactate, acétate ou citrate. La présence de fructose améliorerait l'absorption intestinal de K^+ et rendrait la solution plus appétante (LINDINGER ; 2008).

Les principales recommandations sont donc de s'assurer du bon état d'hydratation du cheval avant et après l'épreuve ; de prévoir une alimentation adaptée à son type d'effort et éventuellement de compléter en électrolytes lors d'une épreuve difficile aussi bien par le niveau que par les conditions climatiques.

En cas d'épuisement des stocks corporels, des apports plus radicaux à l'aide d'un sondage nasogastrique ou d'une perfusion intraveineuse doivent être entrepris.

II.B.3. Pathologies nutritionnelles du cheval de CCE et moyens de prévention

Les pathologies présentées ci dessous n'ont pas pour origine que des causes nutritionnelles mais peuvent être en partie engendrées par une mauvaise gestion de la nutrition associée au quotidien du cheval (entraînement, confinement au box la plupart du temps, ennui, stress...). Aussi, il convient de tout mettre en œuvre pour limiter l'apparition de ces troubles car certains d'entre eux sont gravissimes.

II.B.3.a) La perte d'état corporel

Une baisse de l'état général peut avoir de multiples causes :

- une pathologie sous-jacente, dont certaines sont présentées ci-après.
- une mauvaise corrélation entre apports et besoins nutritionnels par rapport au volume de travail demandé. Dans ce cas, il conviendra d'adapter les apports et de privilégier des repas fractionnés pour les concentrés avec distribution de foin quelques temps avant.

- le surentraînement (cf. partie I.A.3)). Une période de repos devra être accordée au cheval avec un contrôle de son bon état général avant la reprise du travail.

- l'action de parasites même si leur présence est relativement contrôlée chez les chevaux de sport par le biais de vermifugations préventives dont les protocoles peuvent être établis selon différentes stratégies :

* un programme ciblé où les individus traités ont des coproscopies (avec détermination du taux d'œufs par gramme de fèces et choix d'un seuil).

* un programme stratégique avec deux vermifugations par an de tous les individus simultanément, en correspondance avec l'épidémiologie des divers parasites.

* un programme par intervalle où les individus sont tous vermifugés selon un intervalle de temps déterminés (tous les 3 mois par exemple).

* une administration en continu d'antiparasitaire dans la nourriture (administration quotidienne de pyrantel dans la nourriture, non pratiquée en Europe) (LOVE ; 2003).

Le tableau suivant récapitule les différentes molécules et leur spectre antiparasitaire. L'efficacité est variable selon les molécules et leur mode d'administration.

Tableau 9 : Les différentes classes de vermifuges (VIREVIALLE et MERLIN ; 2008).

Molécules	Grands strongles	Petits strongles (adultes)	Petits strongles (larves)	Ascaris	Oxyures	Ténias	Gastérophiles
Fenbendazole	+	+		+	+		
Ivermectine	+	+	+	+	+		+
Moxidectine	+	+	+	+	+		+
Mebendazole	+	+		+	+		
Oxibendazole	+	+		+	+		
Pipérazine				+			
Praziquantel						+	
Pyrantel	+	+		+	+	+ (double dose)	

II.B.3.b) Les coliques

La sémiologie des coliques digestives est souvent la même : cheval qui gratte le sol, se couche et transpire, se regarde les flancs... L'intensité de ces divers signes varie suivant l'origine des coliques même si on constate fréquemment une relation entre la violence des signes cliniques et la gravité de l'affection.

Beaucoup de facteurs de risques potentiels sont répertoriés (cf. Figure 27) mais leur implication exacte dans l'apparition des coliques n'est pas encore prouvée pour tous. Les données les plus importantes concernent l'alimentation et le parasitisme et cette partie sera uniquement développée autour de celles-ci, chez le cheval de CCE (GLUNTZ et GOGNY ; 2007, CIRIER ; 2004).

L'estomac, l'intestin grêle et le gros intestin peuvent être impliqués dans l'étiologie des coliques (cf. Tableau 10). Chez le cheval de CCE, on peut plutôt retrouver :

- des coliques d'origine stomacale : **ulcères gastriques** (cf. paragraphe suivant), surcharge ou dilatation (consommation d'eau excessive après l'effort, surconsommation d'aliments appétents...)

- des affections de l'intestin grêle : obstructions simples (consommation de copeaux/litière de lin...), inflammations (ingestion de sable ou gravier)

- des coliques du gros intestin : tympanisme du caecum (ration riche en glucides hautement fermentescibles), surcharge du caecum (ténias situés à la valvule iléo-caecale), surcharge du côlon ascendant (insuffisance d'hydratation du contenu du côlon), affections inflammatoires (strongyloses,...).

➤ *Prévention*

L'implication de l'alimentation dans la genèse des coliques en fait un facteur de risques dont la gestion doit permettre de diminuer au maximum ces risques. De **bonnes pratiques alimentaires** (détaillées précédemment) associées à un **contrôle du statut parasitaire** par une vermifugation préventive (cf. paragraphe a)) peuvent assurer une meilleure prévention dans l'apparition de coliques liées à ces deux facteurs. De plus, la **dentition** doit être contrôlée régulièrement et le cas échéant rectifiée. L'**activité** du cheval doit aussi être suffisante pour favoriser son transit.

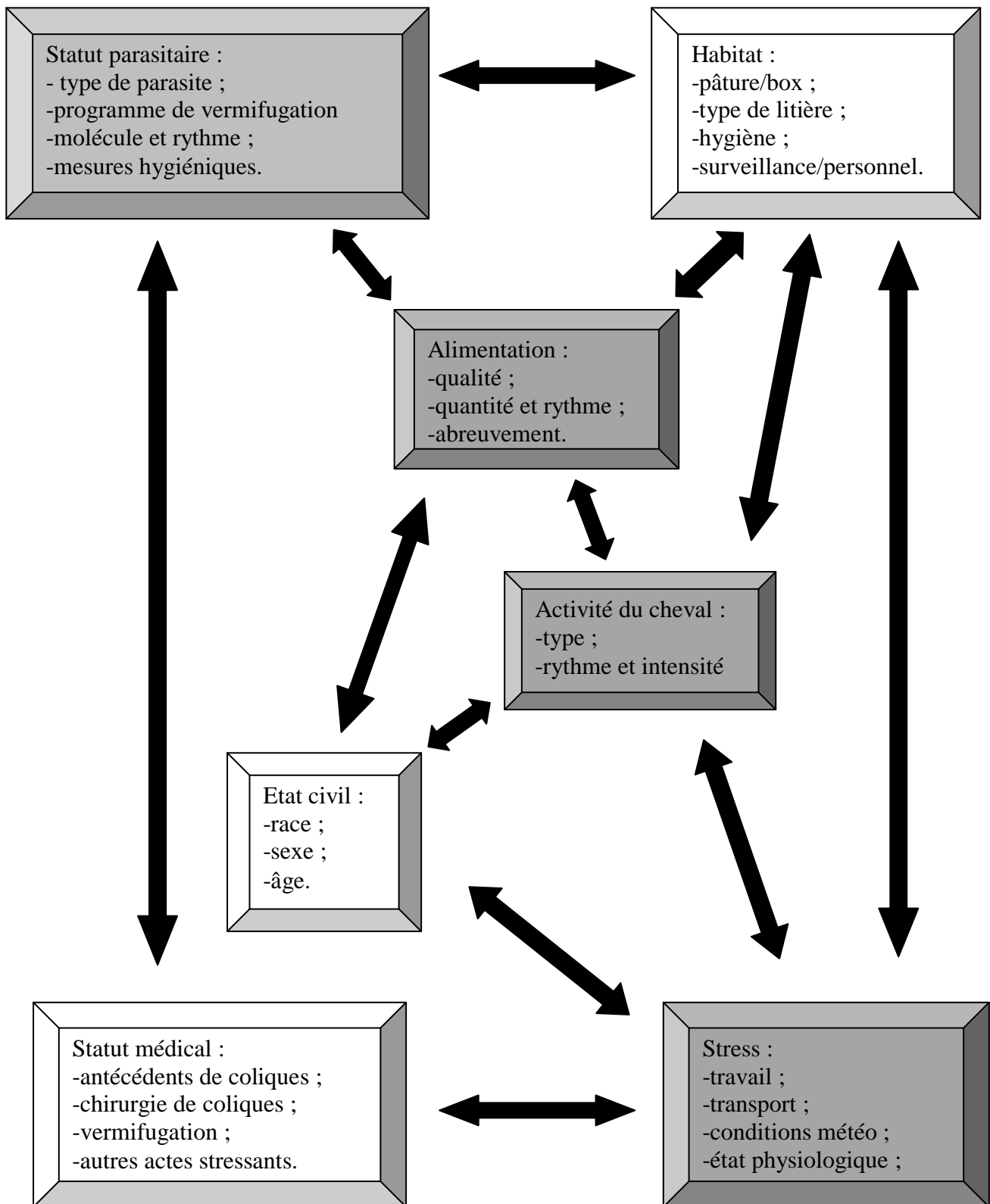


Figure 27 : Diagramme des facteurs de risque pressentis dans la genèse des coliques et leurs relations (CIRIER ; 2004)

Tableau 10 : Causes alimentaires de coliques (CIRIER ; 2004).

Portion intestinale	Type d'affection	Cause alimentaire
Estomac	Impaction	suralimentation farine sèche (qui gonfle secondairement) herbe jeune
	Distension	surcharge de grains mauvaise qualité bactériologique alimentation fermentescible
	Ulcération	stress dans la distribution des aliments (irrégulière) trop de céréales modification de la flore par modification de la composition de la ration
Intestin grêle	Entérite	beaucoup de grains et peu de fourrage (modification de la flore)
	Impaction	alimentation trop broyée, consommation de litière de lin ou de copeaux
	Volvulus	légumineuses
Gros intestin	Colite, typhlocolite	changement brutal d'alimentation (changement brutal de la flore) herbe jeune, engrais alimentation fermentescible entraînant la libération de toxines mash rapidement cuit
	Impaction	excès soudain de fourrage grossier ingestion de sable ou de graviers (par pica, par fourrage mal préparé ou au pré si sablonneux) diminution de la consommation d'eau
	Déplacement, torsion	alimentation riche en grains et pauvre en fourrage herbe jeune ou fraîchement coupée changement brutal avec aliment fermentescible
	Diarrhée	aliment modifiant la flore intestinale fermentations
Petit côlon	Obstruction	fibres longues corps étrangers (phyto ou trichobézoards, autres objets)

II.B.3.c) Les ulcères gastriques

➤ *Prévalence*

Les ulcères gastriques sont rarement observés chez des chevaux adultes au pâturage ou au repos mais ils affectent **jusqu'à 90%** des chevaux en période d'entraînement ou de course (ROY et al. ; 2003, MURRAY ; 1994 (2)) et la prévalence chez les chevaux de selle ou de concours est **d'environ 37%** (MURRAY et al., 1989).

➤ *Physiopathologie et symptômes*

Le syndrome « EGUS » (Equine Gastric Ulcer Syndrome) est composé de plusieurs entités physiopathologiques uniques qui peuvent affecter l'œsophage, l'estomac, le duodénum ou une combinaison de ceux-ci. La principale cause d'ulcération de la muqueuse glandulaire de l'estomac est une perturbation des mécanismes de défense (barrière de mucus et de bicarbonates dont le principal agent inducteur est la prostaglandine E₂). Les ulcères de la muqueuses non glandulaire (ou squameuse) sont dus à une exposition au contenu gastrique acide d'une durée ou d'une intensité inhabituelle.

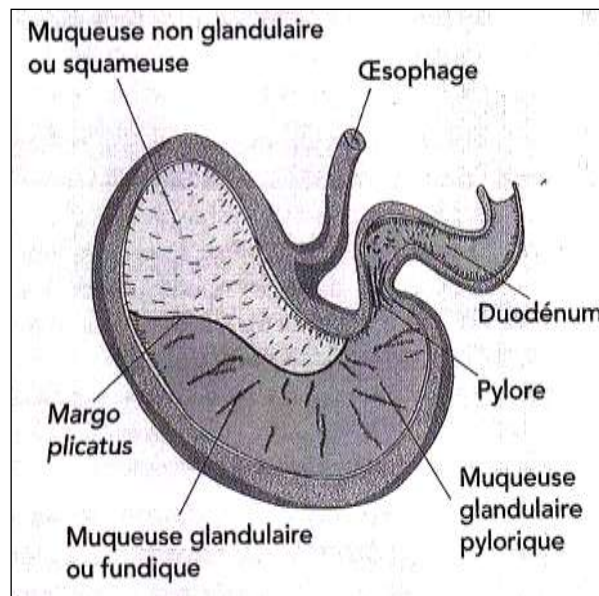


Figure 28 : Anatomie de l'estomac du cheval (TAMZALI ; 2006).

Les signes cliniques le plus souvent associés à une ulcération gastrique sont des coliques postprandiales de faible intensité mais fréquentes, un manque d'appétit et une perte de poids, un poil piqué. Parfois seule une baisse de performance peut être un signe.

➤ *Facteurs de risque*

- Les **pratiques actuelles d'alimentation** ne sont pas toujours compatibles avec la situation naturelle : les repas quotidiens sont moins nombreux et par conséquent plus volumineux et dans ce cas la muqueuse non glandulaire de l'estomac peut être exposée au contenu acide et corrosif. De plus, une proportion de carbohydrates plus importante dans la ration est à l'origine d'une production d'AGV en plus grande quantité (NADEAU et al. ; 2000) et il semblerait que les AGV à longue chaîne aient une capacité ulcérogène même s'il n'est pas encore possible de tirer des conclusions sur leur rôle dans la physiopathologie de l'EGUS. Les périodes de jeûne imposées par les pratiques alimentaires actuelles pourraient également jouer un rôle dans l'EGUS. (MURRAY ; 1994 (1)). La Figure 29 permet d'apprécier le remplissage normal de l'estomac d'un cheval ayant accès à du foin ad libitum.

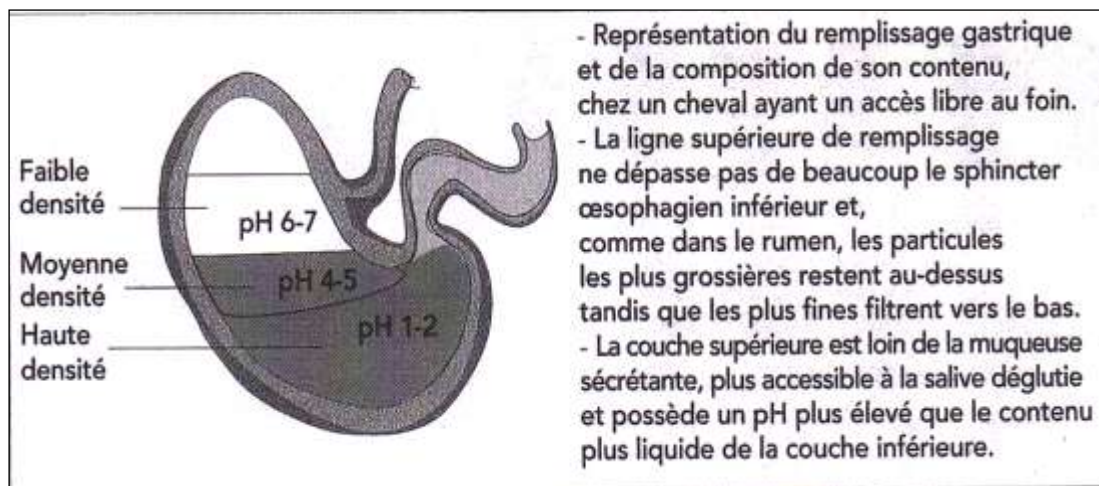


Figure 29 : Remplissage normal de l'estomac (modifié d'après MERITT ; 2003).

- De nombreuses études ont confirmé que **l'exercice et l'entraînement** étaient d'importants facteurs de risques pour les ulcères de la partie non glandulaire de l'estomac chez les chevaux de course (MURRAY et al. ; 1989). La paroi de l'estomac subirait un collapsus en raison de l'augmentation de la pression intra-abdominale ce qui pousserait le contenu gastrique acide vers la muqueuse non glandulaire (cf. Figure 30) (LORENZO-FIGUERAS et MERRIT ; 2002). Cette situation est associée aux allures plus rapides que le pas ou lorsque le cheval met en tension sa musculature abdominale pendant des périodes prolongées (environnement stressant, tic à l'appui).



Figure 30 : Mécanisme physiopathologique des ulcérations primaires de la muqueuse non glandulaire (modifié d'après MERITT ; 2003).

- L'effet ulcérogène des **anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS)**, notamment les inhibiteurs non spécifiques de la cyclo-oxygénase (COX), est connu depuis longtemps. Des études cliniques confirment que l'administration de divers AINS peut induire l'apparition d'ulcères de la portion glandulaire de l'estomac chez les chevaux adultes (MACALLISTER et al. ; 1996).

- la présence en grand nombre de **gastérophiles** peut être à l'origine d'une gêne de la vidange gastrique et ainsi d'ulcérations squameuses secondaires (les lésions squameuses primaires ne sont pas associées à des troubles de la vidange de l'estomac)

➤ *Prévention*

La prévention passe tout d'abord par la réduction des facteurs de risque avec notamment de **bonnes pratiques alimentaires**, une gestion des **périodes d'entraînement** par rapport au repas et une **utilisation raisonnée des AINS** (préférer si disponible les AINS COX-2 sélectifs). Un prétraitement à l'oméprazole peut être envisagé avant un événement reconnu comme facteur de risque. La **vermifugation préventive** avec un spectre incluant les gastérophiles peut éviter le parasitisme intense.

II.B.3.d) Les diarrhées

La diarrhée aiguë chez le cheval adulte **peut être gravissime** et dans une moindre, elle peut être à l'origine d'une période de repos imposée pour le cheval de sport. Outre les causes infectieuses (non développées ici), elle peut survenir suite à un changement alimentaire (surcharge glucidique,...), un stress (concours, transport...) ou un mauvais contrôle de la pression parasitaire. Aussi, il faut s'efforcer de diminuer les facteurs de risque pour limiter l'apparition de diarrhée néfaste au bien être du cheval de CCE et donc à ses performances (MAIR et al. ; 2002).

➤ *Prévention*

- l'alimentation : elle doit être distribuée de manière régulière avec un bon apport de fibres, des repas de concentrés partagés et des périodes de jeûne limitées. Pour le cheval au pré, on surveillera les périodes de pousse de l'herbe (richesse en protéines, acidification du pH intraluminal).

- le parasitisme : si la muqueuse est continuellement agressée par des passages larvaires (petits strongles), elle perd petit à petit son intégrité et donc ses fonctions. Un plan sanitaire de contrôle du parasitisme (cf. a)) diminue ce facteur de risque.

- Le stress : le stress peut provoquer une modification de la physiologie digestive et déclencher une diarrhée qui se résout une fois l'émotion passée. Néanmoins, si la muqueuse est fragilisée et si l'irrigation sanguine s'effectue mal, ce simple stress (qui peut survenir quotidiennement...) peut aboutir à un déséquilibre et faire passer l'organe en insuffisance aiguë.

II.B.3.e) La fourbure

La fourbure est une **affection complexe** pouvant aboutir à une séparation des lamelles dermiques et épidermiques du pied du cheval. Son **pronostic sportif et vital** peut être **sombre**. Parmi les causes de fourbure aiguë, l'alimentation (endotoxémie et acidose par déséquilibre alimentaire tel une surcharge glucidique) et les concussions répétées interviennent comme facteurs favorisants ou déclenchants (BAILEY et al. ; 2004 et BLANCHARD ; 2008).

Toutes les situations qui conduisent au passage de toxines bactériennes ou de bactéries dans le sang peuvent tout à fait être à l'origine d'une fourbure : parasitisme intestinal, infection urinaire...

➤ *Prévention*

Afin d'éviter une fourbure, il convient de favoriser au mieux la digestion de la ration ce qui permet de **limiter les fermentations indésirables** dans le gros intestin : on optera pour

une ration à base de foin, d'un concentré le plus digestible possible (plutôt floconné que grain entier) et d'huile végétale si un apport supplémentaire d'énergie est nécessaire.

Le **surpoids** étant un facteur de risque, il faut éviter que le cheval, et encore plus le poney, soit « trop rond ».

II.B.3.f) Les rhabdomyolyses associées à l'effort

La rhabdomyolyse à l'exercice est un syndrome synonyme de **limitation de performance**, voire de fin de carrière pour certains chevaux athlètes. L'alimentation jouerait un rôle déclenchant puisque une surcharge de glucides pourrait être une des causes de l'apparition de certaines rhabdomyolyses. Celles-ci découlent de différentes myopathies qui présentent des similarités sur le plan clinique mais dont la pathogénie est distincte ce qui nécessite une gestion adaptée des chevaux (ART et al. ; 2000 (b)).

- Rhabdomyolyse à l'exercice de type sporadique : elle apparaît chez les chevaux qui effectuent un exercice **trop intense** par rapport à leur condition physique. Elle peut être due à un surentraînement, un déficit en électrolytes, en vitamine E et en sélénium ou à la réalisation d'un exercice chez un individu atteint d'une infection virale.

- Rhabdomyolyse à l'exercice de type chronique : les formes chroniques sont dues à des **anomalies héréditaires** telles que la myopathie à stockage de polysaccharides « PSSM » (accumulation excessive de glycogène et d'un polysaccharide anormal) ou la myopathie récurrente à l'exercice « MRE » (défaut de régulation du calcium intracellulaire). Les chevaux atteints par ce type ne sont en général pas ou plus utilisés pour du CCE. Aussi, nous ne détaillerons pas davantage ce type de rhabdomyolyse.

➤ *Gestion des chevaux sujets à des rhabdomyolyses sporadiques*

- Environnement : le **stress** étant un facteur déclenchant, il convient de trouver des moyens de le réduire

- Exercice : après une crise, quelques jours de repos sont nécessaires avant la reprise du travail. Un échauffement prolongé et une phase de récupération active sont importants. La gestion des chevaux atteints de PSSM ne sera pas développée.

- Alimentation : d'une manière générale, il est conseillé de **réduire les glucides et de les substituer par des matières grasses** (huile végétale de maïs, colza, soja ou tournesol) et par de la cellulose digestible (foin de très bonne qualité). La supplémentation en vitamine E et en sélénium peut être indiquée chez des chevaux en déficit ou chez les individus atteints de MRE. La supplémentation en électrolytes peut être envisagée par des temps chauds et plus particulièrement si l'exercice dure plusieurs heures (cf. partie II.B.2.c))

II.B.3.g) Les déséquilibres hydro-électrolytiques

Si le cheval présente régulièrement des déséquilibres hydro-électrolytiques, les efforts demandés dans cet état sont limités. Ils peuvent aboutir d'un premier temps à de la fatigue et des crampes et d'en un second temps à des troubles neuromusculaires (cf. partie I.B.2.e)(5) comme par exemple le flutter diaphragmatique.

➤ *Prévention*

Elle passe par un bon accès à l'eau et un bon état d'hydratation du cheval avant, pendant et après des efforts difficiles. De la même manière, l'apport d'électrolytes dans la ration ou en supplémentation peut être utile pour les individus qui suent énormément ou qui participent à des épreuves physiquement éprouvantes.

II.B.3.h) Les déséquilibres acido-basiques

➤ *La régulation du pH sanguin*

Le maintien d'un pH constant au sein de l'organisme est fondamental pour sa survie. En clinique, on se base sur le pH sanguin pour déterminer le statut acido-basique de l'animal. Les acides et les bases sont produits au cours de divers métabolismes et des anomalies de la balance acido-basique provoquent des dysfonctionnements ou des surcharges du métabolisme général ou de la respiration. La régulation du pH repose sur l'intervention de systèmes tampons et de deux organes, le poumon et le rein. En modifiant la pCO₂, la ventilation pulmonaire influe sur le pH sanguin. En modifiant l'excrétion des protons, des bicarbonates et des électrolytes, le rein assure un rôle fondamental dans la régulation du pH.

➤ *Prévention*

La nutrition et notamment l'apport de minéraux joue un rôle sur l'équilibre acido-basique. L'excès de base (BE) ou le déficit peut être calculé en faisant la différence entre la somme des cations et des anions fournis dans l'alimentation :

$$\text{BE alimentaire (mEq/kg)} = (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Cl} + \text{P} + \text{S}).$$

L'absorption de Ca, Mg et P est limitée et variable. Aussi, la balance alimentaire cation-anion est fréquemment mesurée selon une formule simplifiée :

$$\text{BE alimentaire (mEq/kg)} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$$

Selon les études, S est souvent ignoré dans cette formule du fait qu'il est normalement fourni à hauteur de 70-80 mEq/kg dans l'alimentation (FRAPE ; 2010).

La balance cation-anion de la ration peut être ajustée artificiellement en additionnant du chlorure de calcium, du chlorure d'ammonium, du citrate de potassium ou du bicarbonate de sodium (THIENPONT ; 1989, FRAPE ; 2010).

L'essentiel :

* Les recommandations théoriques doivent servir de base pour une alimentation adaptée au cheval de CCE mais les contraintes techniques imposent de multiples adaptations en pratique : fractionnement des repas, aliments de bonne qualité fournissant l'énergie et tous les autres nutriments essentiels, gestion des animaux au box/en concours...

* La prévalence et l'importance de certaines pathologies liées directement ou en partie à l'hygiène alimentaire et préjudiciables au bon état de santé (et par la même aux performances) ont motivé l'instauration d'un équilibre nutritionnel associé au contrôle de certains paramètres tels que le statut parasitaire, les périodes d'entraînement... La diminution de tous ces facteurs de risque permet de limiter l'apparition de telles pathologies, ou au moins d'en restreindre les causes.

II.C.Le suivi médico-sportif

Le cheval de sport, et donc de CCE, étant désormais considéré comme un athlète, son état de santé est suivi de très près. En effet, il doit être au meilleur de sa forme pour pouvoir donner le meilleur de lui-même. Aussi, l'intérêt porté au suivi médical et sportif a permis de développer bon nombre de paramètres indicateurs de l'état de santé.

II.C.1.Suivi du poids vif et de la note d'état corporel

Le poids vif des chevaux peut être évalué régulièrement pour vérifier le bon état corporel des individus qui conditionne leur aptitude à effectuer un effort (INRA ; 1990, WOLTER ; 1999). Il peut être relevé soit par une pesée soit à l'aide d'un bandeau mesureur et ensuite calculer selon la formule définie précédemment (cf. II.A.3.a)) Il peut permettre d'ajuster des rations ou de s'assurer que les animaux ne perdent pas de poids.

L'œil de l'entraîneur ou du cavalier est également un bon indicateur. En effet, la palpation de certaines zones permet de voir si le cheval prend ou perd de l'état.

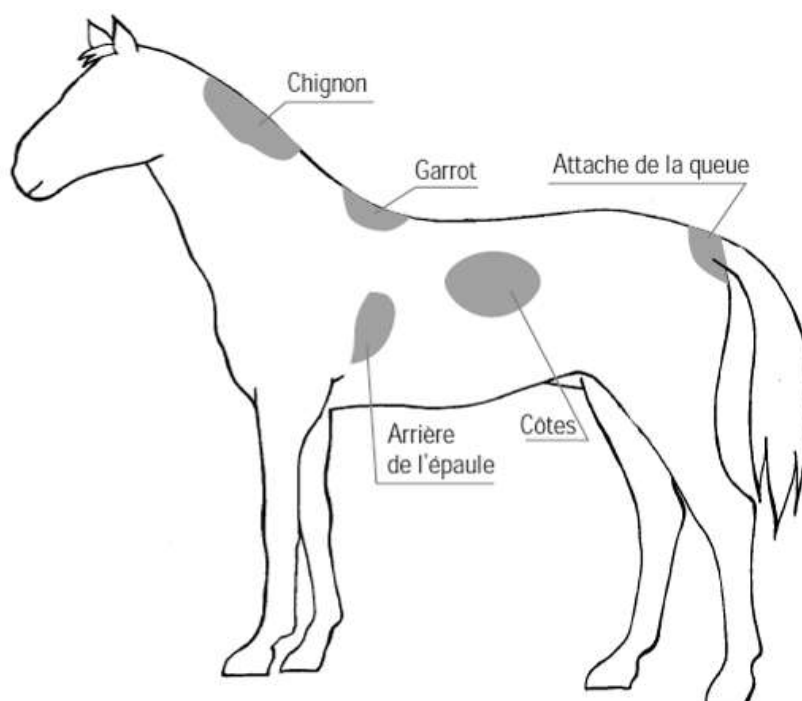


Figure 31 : zones de palpation pour évaluer l'état corporel (INSTITUT DE L'ELEVAGE ; 1997)

La surveillance du bon état corporel est importante à prendre en considération puisque les chevaux de CCE ne doivent être ni trop sveltes ni trop « en chair ». Il faut donc s'efforcer de trouver le juste milieu pour lequel le cheval est au meilleur de sa forme et ceci peut varier de façon individuelle. L'adaptation d'une ration alimentaire couvrant au mieux les besoins de chaque individu, sans pour autant le rendre trop « chaud » (difficile à monter, à manipuler au quotidien), est donc indispensable dans cette discipline (WOLTER ; 1999).

II.C.2.Analyse des rations

Comme nous l'avons décrit précédemment, la ration d'un cheval s'établit à partir de son poids vif, de son statut physiologique et de son activité. Aussi, il va de soi qu'il faut contrôler les rations alimentaires des chevaux qui peuvent varier selon plusieurs facteurs :

- l'âge : les jeunes chevaux sont débourrés vers 3 ans et mis au travail effectif vers 3,5 ans pour préparer la saison de cycle classique 4 ans. Ils ont donc des besoins spécifiques de fin de croissance et de début d'entraînement (musculature non développée) qu'il est indispensable de bien respecter pour prévenir certaines pathologies nuisibles à une future carrière sportive. Pour les chevaux plus âgés, seuls les besoins liés à l'entretien et à l'exercice sont pris en compte.

- la saison : en période hivernale, il n'y a pas de CCE et donc les chevaux effectuent un travail différent. Le développement de la forme de base ou du « foncier » et le perfectionnement du dressage sont envisagés pour tous les chevaux. Pour les jeunes qui doivent s'améliorer aussi en saut d'obstacles, le travail reste plutôt complet (travail sur le plat, à l'obstacle, sur le cross, trotting...). Lors de la saison de concours, il est fréquent de laisser quelques jours de repos après une épreuve mais également une fois par semaine.

- le niveau : selon le niveau auquel concourent les animaux, leur entraînement et les efforts demandés sont différents. Ainsi, les besoins sont modifiés et les apports alimentaires doivent être adaptés.

- le climat : l'environnement extérieur joue sur la sudation et donc sur les pertes hydro-électrolytiques. L'entraînement peut éventuellement être effectué à un moment de la journée plus clément mais lors d'un CCE, il faut s'accommoder de l'environnement et donc prévoir par le biais de l'alimentation le remplacement des pertes hydro-électrolytiques.

L'analyse des rations doit se faire tout au long de l'année car les besoins varient selon l'intensité du travail et la période de compétition. L'étude de Le Coz Bunel (2006) a montré que certaines écuries françaises modifient les rations en fonction de la saison (hiver, compétition, repos). Le calcul des besoins théoriques et des apports alimentaires peut permettre de vérifier que la ration est optimale. Il est possible d'ajouter des compléments alimentaires spécifiques (électrolytes, compléments vitaminiques, autre type de concentrés...) en période de concours.

La mise en pratique est toutefois un peu différente de la théorie : le calcul théorique est rarement fait. Le rationnement se fait souvent « à l'œil » et il est ajusté au fur et à mesure selon la prise/perte de poids, l'activité et le tempérament de chaque individu. Si la ration a été élaboré initialement avec un professionnel, ce type de suivi « semi-qualitatif » semble suffire à assurer un apport satisfaisant pour un cheval de sport ayant terminé sa croissance, du moment qu'il n'y a pas apparition de problèmes métaboliques ou d'intolérance à l'effort qui force à réévaluer.

II.C.3. Bilans sanguins

L'utilisation de bilans hématologiques et de tests biochimiques sanguins chez le cheval font partie intégrante de la pratique courante.

En amont de l'effort, les bilans de base dits « de bonne santé » permettent de s'assurer de l'absence d'anémie, d'inflammation ou d'atteinte hépatorénale, toutes délétères pour le sport.

Les modifications physiologiques et métaboliques qui surviennent à la suite de l'exercice ou de l'entraînement permettent de dresser un bilan précieux pour le suivi médical et sportif du cheval athlète.

Aussi, la réalisation en début d'entraînement d'un bilan hémato-biochimique constitue une référence pour la suite du suivi. Des dosages faisant suite aux exercices peuvent éventuellement mettre en évidence des signes de fatigues ou certaines affections subcliniques.

Les « valeurs usuelles » d'un même cheval athlète peuvent être ainsi déterminées au fil de ses propres prélèvements, chaque cheval étant optimalement son propre contrôle dans le temps.

L'approche hématologique et biochimique dans le suivi médico-sportif du cheval athlète va être développée dans les paragraphes suivants.

II.C.3.a)Hématologiques

De nombreux éléments sont à prendre en compte pour interpréter un hémogramme. En effet, les variations inhérentes à la race, à l'âge et à l'utilisation du cheval sont les premiers paramètres à considérer dans les bilans sanguins de routine ou d'exploration. Les animaux nerveux au moment du prélèvement ont significativement, par rapport aux individus calmes, des taux d'érythrocytes et de leucocytes plus élevés (l'adrénaline est responsable de ce phénomène). La formule leucocytaire est fiable si les intervalles admis pour chaque race et chaque discipline équestre ainsi que les conditions de prélèvements sont pris en considération. Ainsi, la prise de sang doit être réalisée le matin, au calme et avant tout travail. Au-delà de ces variations, l'exercice et l'entraînement sont eux aussi responsables de modifications de l'hémogramme et du leucogramme (ROSE et HODGSON ; 1994, ROSE et ALLEN ; 1985).

II.C.3.a)(1)Modifications induites par l'exercice

La grande capacité de splénocontraction de la rate chez les équidés à l'effort induit des modifications de l'hémogramme directement corrélées à l'intensité de l'exercice. Ainsi, on admet parfois que la moitié des hématies disponibles sont libérées chez le cheval (probablement sous l'influence des catécholamines). Cet apport procure au cheval à l'exercice une plus grande capacité de transport de l'oxygène qui est associé de façon linéaire à la vitesse du travail. Rose et Allen ont mis en évidence une corrélation positive entre l'hématocrite après l'effort et la performance en course (ROSE et ALLEN ; 1985). La viscosité sanguine est plus élevée et il faut prendre garde à l'hémoconcentration qui peut être accrue suite aux pertes hydriques élevées, notamment pour les chevaux d'endurance.

La formule leucocytaire est aussi modifiée avec l'exercice et le stress (transport...), ceci de manière variable selon la discipline de l'animal. Les principales modifications sont dues aux variations de cortisol plasmatique qui provoque une leucocytose (neutrophilique) et une lymphopénie transitoire. Ceci semble beaucoup plus marquée chez le cheval d'endurance que chez le pur sang : le taux de cortisol plasmatique est très élevé chez les chevaux d'endurance à la limite de l'épuisement et il n'est pas rare de constater des modifications marquées de neutrophiles et des variations importantes du rapport polynucléaires neutrophiles/lymphocytes (ROSE et HODGSON ; 1994, SNOW et al. ; 1983).

II.C.3.a)(2)Modifications induites par l'entraînement

La réalisation d'un bilan sanguin chez un cheval en début d'entraînement est intéressante car elle permet de faire une comparaison avec les bilans suivants et de suivre l'évolution (qui doit être favorable si le programme d'entraînement est correct).

Plusieurs études ont été menées pour démontrer les effets de l'entraînement sur les paramètres hématologiques. Ainsi Rose et Hodgson ont pu tirer des conclusions sur les effectifs de pur sang suivis (ROSE et HODGSON ; 1994). Ils constatent que l'entraînement induit une augmentation du nombre d'hématies quelque soit l'âge du cheval, en fonction du temps passé à l'entraînement. De la même manière, le taux d'hémoglobine augmente avec l'entraînement.

Une étude réalisée par Tyler-Mc Gowan et al. (1999) montrait qu'une augmentation du volume des érythrocytes se produisait entre la première semaine et la septième semaine d'entraînement et qu'au-delà de la trente deuxième semaine, on ne notait plus d'augmentation du volume. Cet effet était d'autant plus visible sur des chevaux désentraînés ou au repos avant le début de l'entraînement. Ceci constitue une adaptation d'importance non négligeable en termes de transport d'oxygène.

Le leucogramme peut également être modifié et particulièrement en cas de surentraînement. En effet, une éosinopénie a été rapportée chez des chevaux surentraînés sans mise en évidence d'une maladie systémique. Ceci laisserait penser que les éosinophiles sont des indicateurs plus sensibles d'un stress dû à l'entraînement que les neutrophiles ou les lymphocytes (même si la présence d'une neutropénie peut être observée en cas de surentraînement) (TYLER-Mc GOWAN et al. ; 1999).

II.C.3.b) Biochimiques

La biochimie sanguine est essentielle dans la **détection précoce** de lésions tissulaires ou d'altérations fonctionnelles d'organes majeurs chez l'athlète que sont les muscles cardiaques et squelettiques, les reins et le foie, même si les maladies rénales et hépatiques sont relativement peu fréquentes chez le cheval. Elle permet également de contrôler l'état d'entraînement ou plutôt de surentraînement, la qualité des apports alimentaires, etc....

Il est couramment admis que 72 heures après un travail de cross ou d'endurance, la plupart des paramètres biochimiques doivent être revenus à des valeurs « normales » pour le cheval suivi (FORTIER et al. ; 2000 ; (2)).

Le choix des paramètres à analyser se fait selon le bilan envisagé (général, appareil musculo-squelettique, hépatique, rénal, gastro-intestinal ou cardiaque). En pratique courante, tous les dosages ne sont pas réalisables aussi facilement (méthode de prélèvement et de conservation des échantillons, méthode d'analyse, coût...).

Aussi, nous ne détaillerons que les paramètres biochimiques les plus fréquemment analysés dans le cadre du suivi du **cheval de sport**. Ces derniers vont être présentés dans la suite de ce paragraphe et un tableau (Tableau 11) récapitulatif sera exposé en dernier point pour visualiser les paramètres à choisir (dont ceux non détaillés ici) selon le bilan souhaité.

II.C.3.b)(1) Les électrolytes sanguins

II.C.3.b)(1)(a) Sodium

La concentration sérique en sodium est relative au contenu échangeable entre les compartiments intra et extracellulaires. Elle est le régulateur ionique majeur de la pression hydrostatique. Les modifications de l'équilibre hydrique et l'action de l'aldostérone (augmente la résorption de sodium au niveau des reins) sont les deux principales causes de la variation de la concentration sanguine sodique.

Chez le cheval de sport, une hypernatrémie peut apparaître lors de déshydratation, une hyponatrémie lors d'une perte excessive de sueur (EADES et BOUNOUS ; 1997).

II.C.3.b)(1)(b) Chlore

C'est l'anion majoritaire dans les fluides extracellulaires. Les variations de la concentration sanguine en chlore sont proportionnelles aux variations sanguines en sodium et inversement proportionnelles à celles en bicarbonate.

Le rôle du chlore (et de son déficit en particulier) est capital dans la genèse des alcaloses métaboliques : en effet, l'excrétion rénale des bases n'est possible que couplée au chlore. Aussi, en cas de forte sudation, les pertes en chlore provoquent une réabsorption rénale de bicarbonates pour maintenir l'électroneutralité et ainsi une alcalose métabolique compensatrice (CARLSON ; 2002, STOCKHAM ; 1995)

II.C.3.b)(1)(c)Calcium

Le calcium est présent dans le plasma sous trois formes : lié aux protéines sanguines, ionisé et complexé. Environ 50% du calcium est lié aux protéines. La calcémie mesurée correspond au calcium sérique total ; la forme ionisée ne pouvant être mesurée qu'immédiatement après le prélèvement et avec un équipement particulier.

L'alimentation, la concentration en albumine et la concentration en hormones endogènes influence la calcémie.

L'hypercalcémie chez le cheval de sport peut être rencontrée lors d'hypervitaminose D, d'excès d'ingestion, ou d'exercice maximal. L'hypocalcémie (calcium total) peut être secondaire à une hypoalbuminémie, à une tétanie de transport, à une diminution de l'ingestion ou à un excès de sudation (EADES et BOUNOUS ; 1997).

II.C.3.b)(1)(d)Potassium

La distribution du potassium qui est majoritairement intracellulaire (60 %). La kaliémie est influencée par des facteurs qui affectent l'équilibre interne (distribution intra/extracellulaire) et l'équilibre externe (apports et pertes) ce qui rend l'évaluation des réserves corporelles en potassium délicate.

L'hypokaliémie résulte soit de la déplétion des réserves corporelles soit de la redistribution du potassium du secteur extracellulaire vers intracellulaire (. Chez le cheval de sport une cause possible est une baisse d'apports associée à des pertes augmentées (lors de sudation importante par exemple). Une hypokaliémie sans déplétion des réserves corporelles peut être expliquée par une fuite du potassium vers le compartiment intracellulaire lors d'administration de glucose et/ou d'insuline. Une hyperkaliémie peut être observée en cas d'acidose (l'excès de H⁺ intracellulaire provoque un passage extracellulaire de K⁺ ; au niveau du tube contourné distal du rein, l'élimination de H⁺ se fait au détriment de K⁺) ou d'exercice maximal (EADES et BOUNOUS ; 1997).

Une hyperkaliémie peut être secondaire à une hémolyse in vitro ou à la fuite de potassium érythrocytaire après conservation de sang entier pendant plusieurs heures. Ceci explique l'importance de séparer le plasma des hématies rapidement si un tel dosage est envisagé (DESJARDINS et CARDORE ; 2006).

II.C.3.b)(1)(e)Magnésium

Le magnésium sanguin représente seulement 1% des réserves de l'organisme : l'évaluation du statut corporel en magnésium est donc délicate par le biais de cette mesure. De plus, il est présent soit sous forme chélatée soit sous forme ionisée (celle-ci permettrait une meilleure évaluation mais il existe encore très peu d'études évaluant cette fraction métaboliquement pertinente)

). L'équilibre corporel en magnésium est principalement relié à l'absorption intestinale (importance des apports alimentaires et du bon fonctionnement du système digestif), à l'excrétion rénale et à la lactation.

L'hypomagnésémie peut être liée à une sudation excessive, à une hypoalbuminémie ou chez des chevaux en tétanie hypocalcémique (EADES et BOUNOUS ; 1997).

L'hypermagnésémie est rare mais peut être rencontrée après une rhabdomyolyse sévère : la lyse cellulaires libère du magnésium dans l'espace extracellulaire (STEWART ; 2004).

II.C.3.b)(1)(f)Phosphore

La régulation du phosphore se fait conjointement à la régulation de la calcémie par des facteurs nutritionnels et hormonaux. A l'inverse du calcium, le phosphore est surtout intracellulaire. Aussi, la concentration sanguine en phosphore n'est pas toujours révélatrice des réserves corporelles.

Une hyperphosphatémie se retrouve en cas de ration riche en phosphore et pauvre en calcium ou de rhabdomyolyse secondaire à un exercice (mécanisme mal connu). Des déficiences nutritionnelles peuvent s'accompagner d'une hypophosphatémie.

Les poulains et les jeunes chevaux ont une concentration sanguine en phosphore plus élevée que les adultes.

II.C.3.b)(1)(g)Bicarbonates

Le CO₂ total peut constituer un des « électrolytes » mesurés en biochimie sanguine. En effet, 95 % du CO₂ total provient des bicarbonates : il s'agit d'une bonne méthode d'approximation des bicarbonates. Ces deux éléments augmentent lors d'alcalose métabolique et diminuent en cas d'acidose métabolique (DESJARDINS et CARDORE ; 2006).

Il existe une étroite relation entre le pH, la pCO₂ et HCO₃⁻ :



$$\text{pH} = \text{pK} + \log [\text{HCO}_3^-] / \alpha \text{pCO}_2$$

Avec pK = 6.1 et $\alpha = 0.0301$

Le taux de bicarbonates restent difficilement interprétables sans la pCO₂ et le pH car il faut bien différencier une variation compensatoire physiologique des bicarbonates, d'un déficit ou d'un excès de base (pathologique) qui ne peuvent être mesurés que par les techniques dites des gaz sanguins (SILIART et NGUYEN ; 2007).

L'alcalose métabolique compensatoire peut être rencontrée en cas de pertes en chlore importante (cf. (b)chlore).

Chez le cheval effectuant un effort intense, la production accrue d'acide lactique peut être à l'origine d'une acidose métabolique avec diminution de la concentration en bicarbonates. En effet, l'acide lactique se dissocie spontanément en lactate + H⁺. Les ions H⁺ sont tamponnés par les ions HCO₃⁻ selon l'équation présentée ci-dessus. Une hyperventilation accompagnée d'une baisse de la pression partielle en CO₂ est corrélée à ce phénomène.

II.C.3.b)(2)Les enzymes sanguines

L'exploration du foie se fait en dosant des enzymes spécifiques des canaux biliaires telles que la GGT (gamma glutamyl transférase) et la PAL (phosphatase alcaline), ou des enzymes présentes dans le tissu hépatique telles que la SDH (sorbitol déshydrogénase, peu stable, rarement dosée chez le cheval de sport et non présentée ici) et l'ASAT (aspartate aminotransférase, peu spécifique).

Des lésions musculaires peuvent être mises en évidence par une augmentation du taux des enzymes CK, ASAT et LDH (lactate déshydrogénase, peu spécifique et non développée dans ce paragraphe).

II.C.3.b)(2)(a)Exploration de l'appareil musculo-squelettique

➤ *La Créatine Kinase*

Cette enzyme permet la mise en réserve et la libération rapide d'énergie par échange de phosphate avec l'ATP (cf. & II.A.3.a.1) : elle représente donc un **indicateur sensible et spécifique** de lésions musculaires chez le cheval. En effet, on la trouve à la fois dans les cellules musculaires cardiaques et squelettiques, et à moindre titre dans les tissus nerveux, et son élévation est habituellement liée à une rhabdomyolyse ou une manifestation musculo-squelettique d'une maladie systémique. Il existe trois fractions que l'on peut séparer (CK-MM, CK-BB et CK-MB) et une élévation de la CK-MB est plutôt en faveur d'une cardiomyopathie.

Une augmentation des CK sans évidence histologique de lésions musculaires peut tout à fait être rencontrée lors d'injections intramusculaires, d'un exercice soutenu ou d'un transport long. L'élévation sérique reste toutefois proportionnelle au degré de lésions musculaires. Le pic d'activité des CK est enregistré **quatre à six heures** après l'apparition de la lésion et le retour à une concentration sanguine normale a lieu dans les **12 à 24 heures** (courte demi-vie : 4 heures) (McLEAY ; 2004). Une augmentation qui persisterait suggérerait un processus lésionnel musculaire actif et continu.

Une hémolyse *in vitro* peut être à l'origine d'une fausse élévation des CK : l'adénylate kinase des érythrocytes interfère avec la plupart des méthodes standards de détermination de la CK.

➤ *L'Aspartate aminotransferase*

Elle appartient au groupe des transaminases qui sont des enzymes intracellulaires, **abondantes dans le muscle** où elles prennent en charge les radicaux azotés et dans les **hépatocytes** où elles libèrent ces radicaux azotés utilisés pour la synthèse de l'urée (SILIART et NGUYEN ; 2007).

Toute augmentation sérique de son activité traduit un état inflammatoire, traumatique ou dégénèrescent des tissus qui en contiennent une quantité importante (muscle et foie). Elle peut également augmenter lors d'efforts musculaires moyen à important. Cette évolution est normale pendant l'effort et éventuellement quelques heures après. Néanmoins, la persistance de valeurs élevées est à prendre en considération et peut être le signe de lésions, de fatigue musculaire ou de mauvaises récupérations. La demi-vie de l'ASAT est assez longue, de l'ordre de **3 à 12 jours** (FORTIER et al ; 2000 ; (1)).

II.C.3.b)(2)(b)Exploration du foie

➤ *La Phosphatase alcaline*

C'est une enzyme membranaire qui hydrolyse les esters phosphoriques en libérant des phosphates inorganiques. Elle a des nombreuses actions biologiques en fonction des tissus et il existe de multiples isoenzymes (hépatiques, intestinales et osseuses) (SILIART et NGUYEN ; 2007).

Chez le cheval adulte, l'activité principale des PAL est d'origine hépatique. Les cholestases induisent une augmentation de l'activité sérique des PAL hépatiques. Celle-ci est

normale à peu augmentée dans le cas d'insuffisance hépatique aiguë mais l'activité sérique des ASAT est dans ce cas très élevée (EADES et BOUNOUS ; 1997).

Du fait du **manque de spécificité** des PAL, une élévation de cette enzyme doit être interprétée en parallèle avec d'autres enzymes hépatiques plus spécifiques.

➤ *La Gamma-glutamyl-transférase*

La GGT est un marqueur de maladie hépatocytaire et de cholestase.

Une augmentation de la GGT indique le plus souvent une lésion hépatique et une obstruction biliaire (hépatite chronique active, cholangiohépatite, etc.) Dans ce cas, on note en général une augmentation des PAL concomitante.

L'augmentation des GGT durant l'effort et l'entraînement n'est pas toujours élucidé : chez les purs sangs, il existe parfois une augmentation idiopathique sans corrélation histologique (CARLSON ; 2002).

II.C.3.b)(3)Les protéines sanguines

II.C.3.b)(3)(a)Protéines totales

Les protéines sériques totales représentent deux fractions distinctes : l'albumine et les immunoglobulines. Les protéines totales doivent être évaluées en relation avec la concentration en albumine car une valeur située dans les normes peut tout à fait être associée à une hypoalbuminémie mais une hyperglobulinémie (EADES et BOUNOUS ; 1997).

Chez l'adulte, la concentration en protéines est relativement stable. Une hyperprotéïnémie peut résulter d'une amplification de la concentration de toutes les protéines (panhyperprotéïnémie) ou d'une augmentation des globulines. Une panhyperprotéïnémie provient le plus souvent d'une réduction de la quantité de fluide du compartiment extravasculaire (déshydratation).

Une hypoprotéïnémie résulte d'une hypoalbuminémie ou d'une panhypoprotéïnémie rencontrée lors de maladie gastro-intestinales, hépatiques ou rénales et lors de jeûne prolongé (DESJARDINS et CADORE ; 2006).

II.C.3.b)(3)(b)Albumine

L'albumine est le composant le plus important dans le maintien de la pression oncotique. Elle peut se lier et ainsi transporter d'autres protéines, acides aminés, hormones, etc.

Chez le cheval de sport en bonne santé, une hypoalbuminémie peut apparaître suite à une baisse de production (malnutrition), ou à une dégradation excessive (augmentation du catabolisme protéique) (MORIS et JOHNSTON ; 2002).

L'hyperalbuminémie ne peut être rencontrée que lors de déshydratation importante.

II.C.3.b)(4)Lactates

Les lactates sont produits par la glycolyse anaérobie au niveau des muscles. Ils passent ensuite dans la circulation sanguine et peuvent être réutilisés dans le foie ou les muscles.

La lactatémie est obtenue à un moment donné : elle est le reflet de l'organisme à cet instant et peut varier extrêmement vite.

On peut doser les lactates sur sang total ou sur plasma mais dans les deux cas le prélèvement doit être fait sur tube au fluorure-oxalate (contient du fluorure de sodium qui

inhibe la glycolyse et de l'oxalate de potassium qui est un anticoagulant). La mesure de la lactatémie sanguine nécessite la déprotéinisation du sang dans les 2 heures qui suivent le prélèvement avec de l'acide perchlorique 0.6N. La mesure de la lactatémie plasmatique nécessite la centrifugation du prélèvement dans les plus brefs délais.

La lactatémie évolue exponentiellement avec l'augmentation de la vitesse (cf. 5. Test d'effort standardisé). Avant le seuil de 4 mmol/L, il existe un état d'équilibre entre production et reconsommation du lactate dans l'organisme : la lactatémie est stable. Au-delà de ce seuil, la production devient prépondérante et la lactatémie augmente rapidement (FORTIER et al. ; 2000, (2)).

II.C.3.b)(5) Urée

L'urée est la forme non toxique d'élimination de l'ammoniac. Elle est synthétisée par le **foie** et excrétée entre 75 et 100 % par les **reins**, le reste étant perdu dans la **sueur** et le **tractus gastro-intestinal**.

Chez le cheval de sport en bonne santé, une baisse de l'urémie peut être conséquente à une **ration pauvre en protéines** ou à l'administration de stéroïdes anabolisants (EADES et BOUNOUS ; 1997).

Une légère élévation de l'urémie peut avoir pour origine une anorexie prolongée ou l'administration de **corticostéroïdes** (variations artéfactuelles).

Lors d'exercice prolongé, l'urée sanguine peut doubler du fait de la baisse du flux sanguin rénal et du catabolisme protéique (SNOW et coll. ; 1982). L'urémie peut également doubler si le **taux protéique alimentaire est augmenté** car la production d'urée est proportionnelle au contenu protéique de la ration et l'excrétion est parallèle à la production (DESJARDINS et CADORE ; 2006).

En association avec la créatinine sanguine, l'urée indique si la fonction rénale est altérée mais demeure moins exploitable du fait de son **influence par des facteurs nutritionnels**.

II.C.3.b)(6) Créatinine

La créatinine est un produit de dégradation de la phosphocréatine, réserve d'énergie musculaire. Aussi, la masse musculaire et le niveau d'activité physique font varier le taux de production de créatinine et donc sa concentration sérique. Les chevaux athlétiques musclés ont une **créatininémie plus élevée** que les chevaux sédentaires avec moins d'activité physique.

La créatinine est **entièrement filtrée** au niveau glomérulaire et en évalue ainsi le taux de filtration. Cependant, il faut qu'au moins deux tiers voire trois quarts des néphrons soient non fonctionnels pour qu'une augmentation en dehors des valeurs de référence soit observée. Par contre, une fois élevée, la créatinine sanguine est un indicateur sensible d'une dégradation progressive du taux de filtration glomérulaire (quand la fonction décline de 50 % supplémentaire, la créatinine double) (DESJARDINS et CADORE ; 2006).

II.C.3.b)(7) Glucose

Toute circonstance limitant l'apport énergétique peut engendrer une hypoglycémie marquée. Chez le cheval durant un effort prolongé, le **syndrome d'épuisement** est souvent accompagné d'une hypoglycémie.

L'hyperglycémie est souvent associée au stress et à l'excitation du fait de la libération de catécholamines et de glucocorticoïdes (intérêt de la réalisation au calme des prélèvements sanguins).

Certaines molécules induisent une hyperglycémie transitoire : les corticostéroïdes et la xylazine (CARLSON ; 2002).

Le dosage du glucose doit être réalisé dans les 24 heures, même si le prélèvement a été fait sur un tube contenant un inhibiteur de la glycolyse : la stabilité dans le plasma recueilli sur fluorure de sodium est de 24h à 20-25 °C.

II.C.3.b)(8)Cholestérol

Apporté par l'alimentation ou synthétisé par le foie, il est transporté par les lipoprotéines avec les triglycérides. Les lipoprotéines étant peu miscibles dans le plasma, les lipides migrent en surface si le prélèvement est laissé au repos : si le prélèvement n'est pas bien homogénéisé juste avant le dosage, la valeur peut être soit faussement augmentée soit faussement baissée en fonction du lieu de pipetage (SILIART et NGUYEN ; 2007).

Chez le cheval de sport, le dosage du cholestérol peut être intéressant dans le contrôle des apports alimentaires : une augmentation du cholestérol sanguin peut être associée à une **alimentation riche en matières grasses**, une diminution peut signer une **carence énergétique** (SOMMER et al ; 1996). L'hypercholestérolémie peut aussi être rencontrée lors de dysfonctionnement des métabolismes hépatique et lipidique (néfastes aux performances).

II.C.3.b)(9)Triglycérides

Ils représentent la principale forme d'absorption et de transport des acides gras. Synthétisés par le foie, ils sont associés au cholestérol au sein des lipoprotéines sanguines (surtout dans les chylomicrons et le VLDL). Les triglycérides sont autant responsables de la lipémie que le cholestérol et les deux dosages sanguins doivent toujours être associés pour typer une hyperlipémie (hypercholestérolémie et/ou hypertriglycéridémie).

En cas d'hyperlipémie, le sérum est trouble et souvent hémolysé avec ou sans halo blanc.

Les corticoïdes peuvent être responsables d'une augmentation transitoire de la concentration sérique en triglycérides (KRAOUCHI et al. ; 2007).

II.C.3.b)(10)Bilan : quels paramètres choisir ?

Le Tableau 11 tente de récapituler les différents paramètres qu'il est possible d'analyser selon le bilan souhaité. Tous les paramètres présentés dans ce tableau n'ont pas été développés précédemment puisque seuls ceux facilement dosables et concernant le suivi du cheval de sport en apparente bonne santé ont été détaillés.

Pour interpréter les résultats d'analyse, il faut se reporter à des valeurs de référence. Celles-ci peuvent se trouver dans la littérature ou être données par les appareils de mesure. La difficulté est d'en apprécier la crédibilité. Pour les paramètres les plus fréquemment utilisés en biochimie clinique vétérinaire chez le cheval (comme pour d'autres espèces), on a pu définir des valeurs usuelles mesurées chez des animaux sains dits « tout venant ». Pour des animaux de sport que l'on souhaite suivre au plus près, ces « valeurs usuelles » sont approximatives....

Les variations d'un paramètre par rapport à une valeur physiologique ne sont pas uniquement dues à une perturbation pathologique. Elles dépendent également de l'âge, du

sexe, de l'alimentation, de l'exercice, etc. (SILIART et NGUYEN ; 2007). Les valeurs des paramètres utilisés dans la partie expérimentale seront explicitées dans cette partie.

Tableau 11 : Tableau des différents paramètres analysables selon le bilan recherché (modifié d'après DESJARDINS et CADORE ; 2006)

Bilan biochimique général	Bilan appareil musculo-squelettique	Bilan hépatique	Bilan rénal	Bilan gastro-intestinal	Bilan cardiaque
* Glucose * Urée, créatinine * CK, ASAT, GGT, PAL * bilirubine * PT, albumine, globulines, fibrinogène * Bicarbonates, sodium, potassium, chlore, calcium, phosphore, \pm calcium ionisé * \pm gaz veineux * \pm SDH	* CK, ASAT * Créatinine * \pm lactates * \pm calcium (total et ionisé) * \pm sodium * \pm potassium * \pm chlore * \pm magnésium	<i>Fonction hépatique :</i> * Urée * Glucose * PT, albumine * Bilirubine * \pm triglycérides, cholestérol * \pm acides biliaires <i>Lyse hépatocytaire :</i> * ASAT, GGT, PAL * \pm SDH	* Urée * Créatinine * PT, albumine * Sodium, potassium, chlore, calcium, phosphore, bicarbonates	* PT, albumine, \pm fibrinogène * Sodium, potassium, chlore, calcium (ionisé et total), bicarbonates * Créatinine * Glucose * \pm lactates	* PT, albumine, globulines, fibrinogène * Electrolytes sanguins * Gaz artériel * Créatinine * LDH-1 * CK-MB * Troponine cardiaque I

II.C.4. Biopsie musculaire

La biopsie musculaire est une bonne technique d'investigation chez les chevaux souffrant de rhabdomyolyse récurrente mais c'est une **méthode invasive**. Les muscles les plus souvent utilisés sont le muscle glutéal moyen et les muscles semi-membraneux et semi-tendineux. La biopsie musculaire est là pour confirmer une lésion musculaire si les taux enzymatiques sont élevés ou si l'électromyographie est anormale. Elle permet aussi de déterminer l'origine de la maladie (BARBE ; 2004).

Aujourd'hui, les biopsies musculaires commencent à être employées prospectivement en recherche pour évaluer la capacité énergétique et fonctionnelle du muscle (DAISUKE et al. ; 2006, KARLSTROM et al. ; 2006, nombreux autres articles dans « 7th International Conference on Equine Exercise Physiology, 26-31 August, 2006, Fontainebleau, France »)

II.C.5. Test d'effort standardisé

Les tests d'effort ne sont pas réalisés en pratique courante chez les chevaux de CCE mais plutôt pour expliquer une baisse de performance. Certaines études ont été menées et permettent à partir d'une épreuve d'effort standardisée de mettre en rapport la fréquence cardiaque, la vitesse et la lactatémie et ensuite d'adapter l'entraînement selon les résultats obtenus (GOUPIL, 1990).

L'obtention d'une courbe d'accumulation des lactates lors de cette épreuve permet de décrire une zone transitionnelle aérobie/anaérobie délimitée par les seuils du même nom et

situés respectivement à 2 et 4 mmol/L. Cette courbe est en rapport avec l'intensité du travail qui s'exprime par la vitesse et aussi par la fréquence cardiaque.

Il est donc possible de définir les paramètres suivants :

- FC2 : Fréquence cardiaque pour une lactatémie de 2 mmol/L
- V2 : Vitesse pour une lactatémie de 2 mmol/L
- FC4 : Fréquence cardiaque pour une lactatémie de 4 mmol/L
- V4 : Vitesse pour une lactatémie de 4 mmol/L
- V200 : Vitesse pour une fréquence cardiaque de 200 bpm.

S'agissant d'une épreuve de terrain, il faut être très strict sur les conditions de réalisation pour favoriser la reproductibilité. Aussi, il est important de s'attacher à différents paramètres pour rendre le test reproductible (choix d'une bonne piste de galop jalonnée pour permettre au cavalier de respecter les vitesses imposées avec un point de départ et d'arrivée central pour faciliter les prélèvements, intervalle entre chaque palier court).

L'épreuve d'effort retenue par X. Goupil dans ses travaux était la suivante :

Tableau 12 : Test d'effort standardisé de terrain (GOUPIL ; 1990).

PALIER	VITESSE	ALLURE DU CHEVAL	DISTANCE
N°1	250 m/min	Trot	750 m
N°2	250 m/min	Trot	750 m
N°3	350 m/min	Galop	1050 m
N°4	400 m/min	Galop	1200 m
N°5	450 m/min	Galop	1350 m
N°6	500 m/min	Galop	1500 m
N°7	550 m/min	Galop	1650 m
N°8	600 m/min	Galop	1800 m

L'intervalle entre chaque palier est de 3 minutes. La fréquence cardiaque est mesurée grâce à un cardio-fréquence mètre qui doit pouvoir enregistrer en continu. Ceci permet ensuite de tracer la courbe de la fréquence cardiaque en fonction du temps (Figure 32) et de calculer la fréquence cardiaque moyenne pour chaque palier.

Le dosage de la lactatémie se fait sur prélèvement sanguin veineux au niveau des veines jugulaires dans les 30 secondes qui suivent la fin du palier.

Il est alors possible d'établir une courbe de la lactatémie et de la fréquence cardiaque moyenne en fonction de la vitesse et de noter les points remarquables que sont les seuils aérobie et anaérobie (Figure 33). Ces seuils rapportés à la fréquence cardiaque définissent deux paramètres objectifs pour la conduite de l'entraînement. Au seuil de 2 mmol/L correspond la FC2, celle-ci représente la limite supérieure de l'entraînement foncier ; au seuil de 4 mmol/L correspond la FC4, celle-ci est la valeur optimale pour l'entraînement de type capacité aérobie.

Figure 32 : Courbe de la fréquence cardiaque en fonction du temps pour le test d'effort standard chez le cheval Pontet, hongre de 7 ans, 50 % de sang (GOUPIL ; 1990)

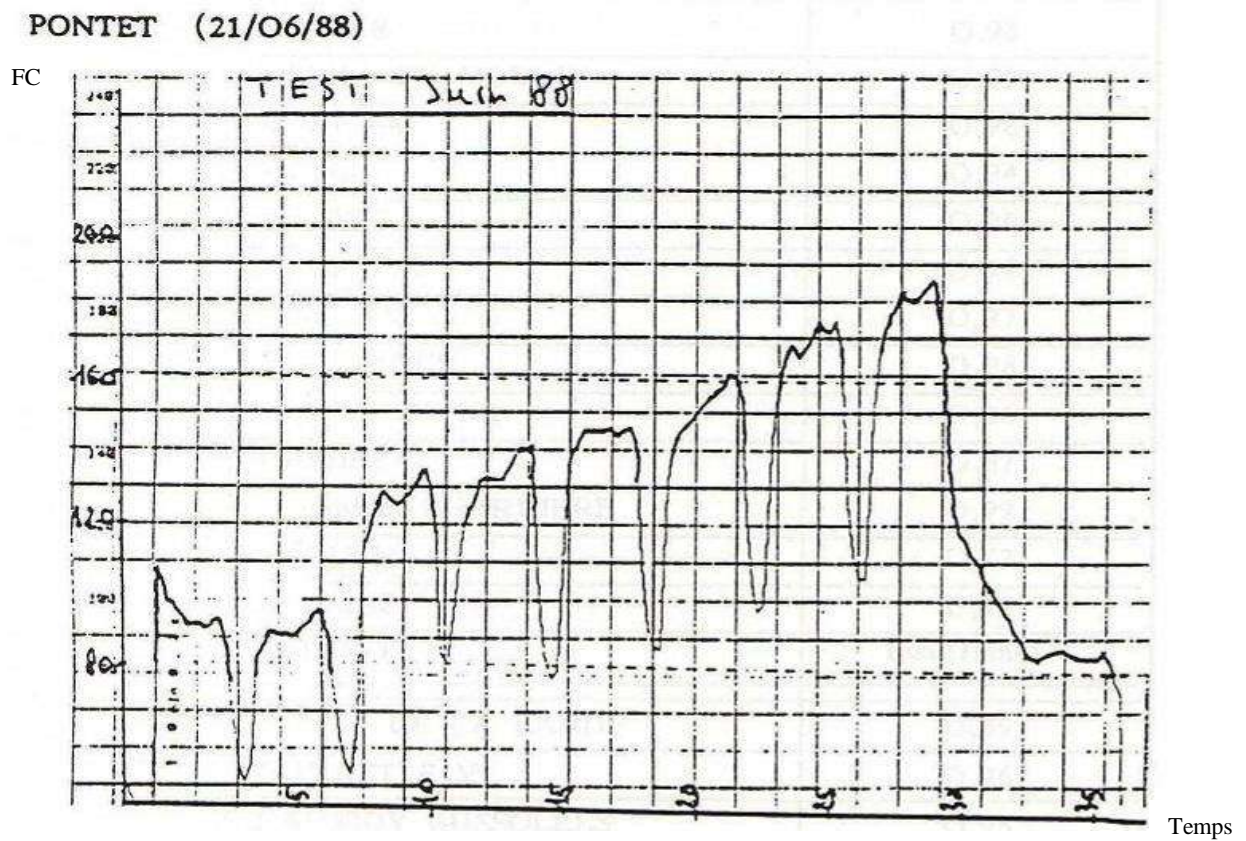
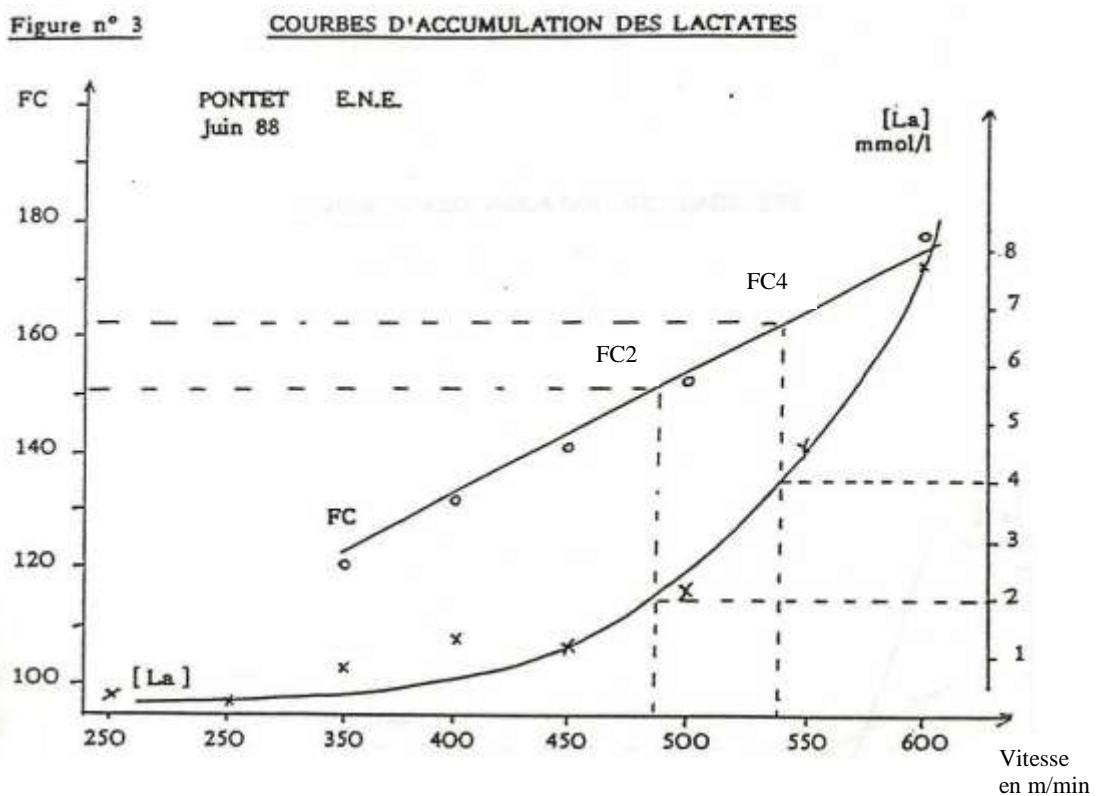


Figure 33 : Courbe d'accumulation des lactates et des fréquences cardiaques moyennes en fonction de la vitesse lors du test d'effort standard chez le cheval Pontet (GOUPIL ; 1990).



Ainsi, après avoir effectué un test d'effort standard, le cavalier peut rapporter le seuil anaérobie à une fréquence cardiaque (FC4). Celle-ci sert ensuite de repère pour la conduite des galops d'entraînement, le cavalier disposant d'un cardio-fréquence mètre qui lui indique en permanence la fréquence cardiaque réelle de son cheval. A la fin de chaque galop, un contrôle de la lactatémie est effectué. Il permet de vérifier la bonne pratique du test d'effort standardisé (validation FC4) et de préserver l'intégrité physique du cheval.

Ces tests ne sont pas forcément bien utilisés pour le cheval de CCE mais ils devraient d'ores et déjà être plus simples à mettre en œuvre avec l'utilisation d'analyseurs automatiques ou semi-automatiques pour le dosage de la lactatémie (comme cela peut être le cas pour des chevaux de course) (GOUPIL ; 1990).

II.C.6.Quelles perspectives ?

II.C.6.a)Le stress oxydatif

Certaines sociétés ont choisi d'évaluer le stress oxydatif pour une observation complète de l'état de santé et de la forme physique chez les chevaux de haute compétition afin d'ajuster leur régime nutritionnel en vue de la réalisation des performances les meilleures, tout comme cela a déjà été réalisé chez des athlètes humains de différentes disciplines (Twidyl® et Probiox® ; 2009).

➤ *Qu'est ce que le stress oxydatif ?*

On parle de stress oxydatif lorsque les défenses anti-oxydantes de l'organisme n'arrivent pas à faire face aux « agressions des pro-oxydants », des radicaux libres obtenus dans les voies métaboliques qui consomment de l'oxygène. Ces radicaux libres, s'ils sont produits en quantité trop importante et s'ils sont non « contrôlés » par l'organisme deviennent néfastes pour les cellules saines.

Un certain nombre d'études mis en avant par ces sociétés ont montré que plus la consommation d'oxygène est élevée, plus le phénomène oxydatif est grand. De plus, il semblerait que l'exercice intense et prolongé et les périodes de compétitions soient à l'origine d'une chute des défenses anti-oxydantes.

➤ *Pathologies et stress oxydatif ?*

Quelques études réalisées par ces sociétés ont établi que le stress oxydatif peut favoriser le développement de pathologies associées au système locomoteur (myopathies, arthrose,...), au système respiratoire (trachéo-bronchites,...), au système vasculaire (HPIE,...) ou au système nerveux (maladie du neurone moteur, maladie de l'herbe,...).

Le stress oxydatif induit par l'exercice pourrait conduire à une intolérance à l'effort ou en premier lieu à une baisse de performance.

➤ *Peut-on corriger le stress oxydatif ?*

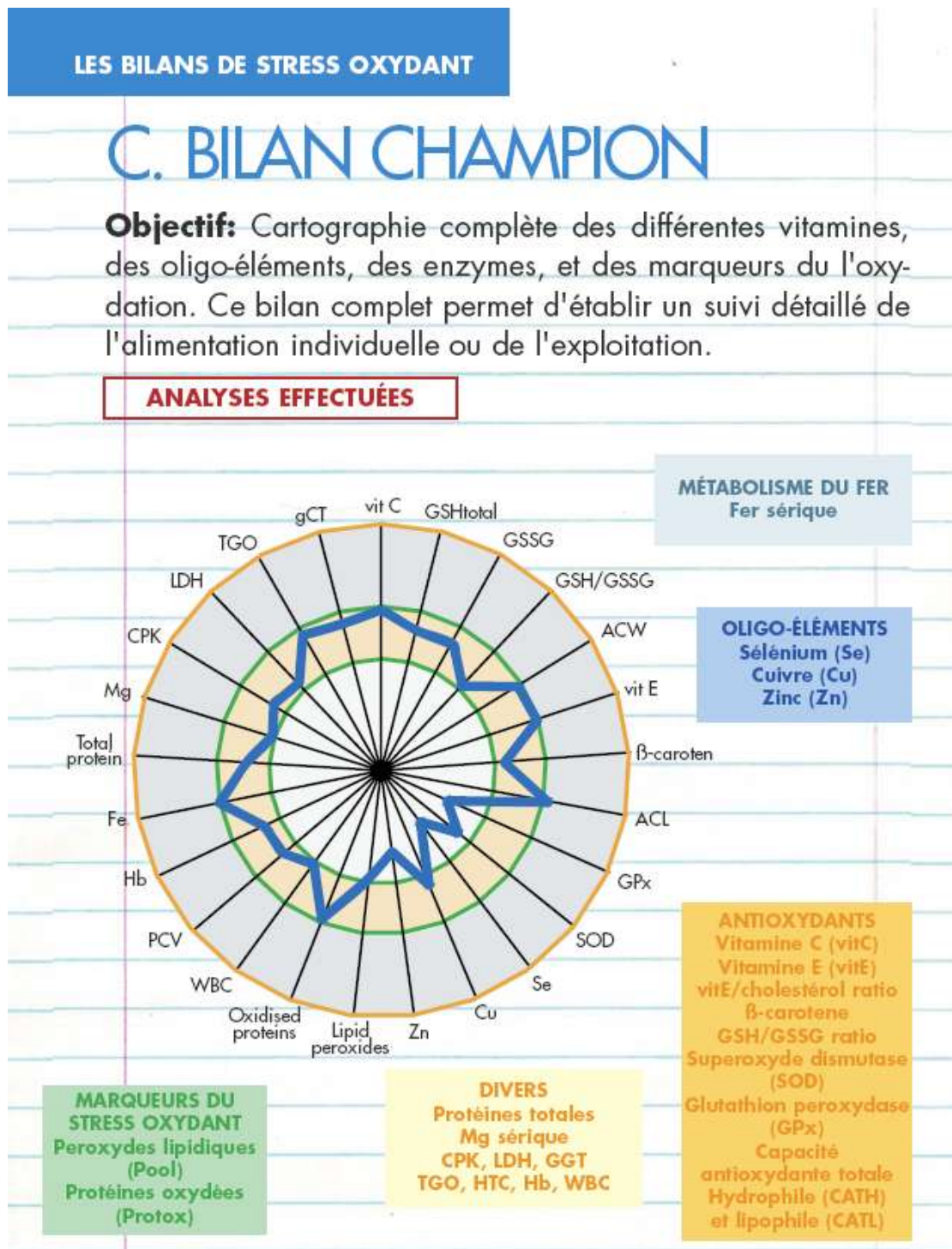
Les capacités antioxydantes seraient améliorées par un entraînement optimal. De plus, des chevaux recevant un cocktail antioxydant sophistiqué pourraient non seulement prévenir un stress oxydatif mais aussi le contrebalancer.

➤ *Quels sont les paramètres analysés ?*

Ces sociétés proposent plusieurs bilans, regroupant plus ou moins de paramètres et donc à des tarifs différents. Le bilan complet permet une cartographie complète des différentes vitamines, des oligo-éléments, des enzymes et des marqueurs de l'oxydation. Selon les résultats, une correction nutritionnelle est mise en place et un contrôle des mêmes paramètres

après quelques mois permet de juger l'évolution du profil et si le choix de la correction nutritionnelle est optimal.

Figure 34 : Exemple d'un bilan de stress oxydatif réalisable (TWYDIL® et PROBIOX® ; 2009).



L'essentiel :

Chaque cheval de CCE peut être suivi de façon plus ou moins approfondie. La première étape est bien évidemment de s'assurer de la forme physique et mentale de chaque individu. Cela passe par le contrôle du poids vif et de la note d'état corporel relativement simple à évaluer. L'analyse des rations peut ensuite permettre de vérifier le bon équilibre nutritionnel selon le statut physiologique et l'activité des animaux.

Les bilans sanguins hématologiques et biochimiques sont intéressants à réaliser en cas de méforme ou de baisse de performance. A ce moment-là, il est toujours judicieux d'avoir fait un bilan sanguin lorsque l'animal débute l'entraînement et qu'il est bon état de santé apparent.

Les tests d'effort devraient prendre une part plus importante dans la conduite de l'entraînement du cheval de CCE. En effet, ils permettent d'adapter de façon optimale les séances de travail de fond avec un investissement financier relatif au nombre de chevaux entraînés (cardio-fréquence mètre, dosage des lactates)

L'obtention des meilleures performances motive de plus en plus le suivi des chevaux de haute compétition et incite certaines sociétés à la recherche et au développement de nouvelles techniques pour l'observation complète de l'état de santé et de la forme physique de ces athlètes.

Deuxième partie :
Etude expérimentale

I. Protocole expérimental

Cette étude expérimentale a pu être réalisée grâce à la collaboration d'un fournisseur d'aliments (LAMBEY SA), d'un laboratoire d'analyses répondant à la norme 17025 et en cours d'accréditation COFRAQ (IODOLAB), des propriétaires ainsi que de leurs chevaux. Elle s'est déroulée de mars 2008 à septembre 2008 et les données fournies correspondent à cette période.

I.A. Objectif

Neuf chevaux entraînés pour le concours complet ont été suivis sur une période de six mois. Leur profil sanguin a été établi, selon un certain nombre de paramètres choisis (cf. § III.C.), avec des prélèvements sanguins réalisés une fois par semaine. Deux types d'aliments concentrés (cf. § II.B.4.) ont été distribués sur une durée de trois mois chacun. Le but est d'observer les profils sanguins ainsi établis et de déterminer s'il existe des variations selon le type d'aliments concentrés donnés. Au-delà de ces analyses sanguines, la santé, l'état corporel et quelques autres paramètres (pousse de la corne, aspect des crottins...) ont également été observés durant l'étude.

I.B. Matériels et méthodes

Les neuf chevaux suivis subissent des prélèvements sanguins une fois par semaine, ces derniers sont ensuite analysés par un laboratoire (IODOLAB) situé sur le site de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon. Le travail effectué par ces animaux est noté ainsi que chaque événement ou incident. Les résultats sont relevés et un essai d'interprétation est donné au paragraphe IV.

I.B.1. Les chevaux

I.B.1.a) Présentation

Les neuf chevaux qui ont participé à cette étude se trouvent dans une écurie située dans l'Ain, à Sandrans. Ils sont travaillés dans le but de participer à des compétitions de concours complet. Parmi ces chevaux, il a été choisi d'inclure dans l'étude Prémice arrivé aux écuries le 10 avril 2008. Les autres étaient présents depuis plusieurs mois et donc habitués à leur environnement et à la première alimentation qu'ils recevaient déjà.

Les chevaux sont de différentes catégories d'âge et sont donc préparés pour des épreuves distinctes (élevage, amateur, internationale).

Ils sont tous vaccinés contre la grippe et le tétanos et certains contre la rhinopneumonie.

Le Tableau 13 récapitule les caractéristiques (âge, sexe, race et statut vaccinal) des neuf équidés.

I.B.1.b) Suivi du travail et de la santé

Chaque jour le travail effectué est noté dans un agenda pour chaque cheval. La durée, la nature (travail sur le plat, séance de saut d'obstacles...) et l'intensité du travail ainsi que les éventuels problèmes de santé rencontrés (boiterie, raideurs, blessure, chute...) sont répertoriés. Le lundi est choisi comme jour de repos et la sortie de ce jour représente un travail léger sans contrainte particulière (paddock, longe sans enrênement, sortie en extérieur au pas principalement...).

Dans la mesure du possible, les médications sont évitées mais lorsque celle-ci sont indispensables pour la bonne santé des animaux, elles sont indiquées dans cet agenda.

De la même façon, si certains chevaux doivent être mis au repos forcé, la raison est indiquée et les traitements mis en place sont notés.

Tableau 13 : Présentation des différents chevaux de l'étude selon leur âge, sexe et race

	Age	Sexe	Race	Statut vaccinal
Oros des Aunets	6 ans	Hongre	CS	GT
Jupiter de Bros	11 ans	Hongre	AA	GT
Quiet Boy Montagne	4 ans	Mâle	AA	GTR
Quetchuan Montagne	4 ans	Mâle	AA	GTR
Lampiris	16 ans	Hongre	PS	GT
Ludovic	8 ans	Hongre	PS	GTR
Jet de Parménie	7 ans	Hongre	PS	GT
Guerrière II	14 ans	Jument	SF section A	GTR
Prémice des Prés	5 ans	Hongre	PS	GT

CS : Cheval de Selle

AA : Anglo-arabe

SF : Selle Français

G : grippe ; T : tétanos ; R : rhinopneumonie

I.B.1.c) Sorties en compétition

Les participations aux compétitions sont prises en compte et notées sur le même agenda que celui pour le suivi du travail. Le transport s'effectue en camion ou en van tracté par une voiture et les éventuels incidents survenus lors du trajet sont répertoriés. Le lieu du concours, l'épreuve et les résultats sont également inscrits.

I.B.2. Les prélèvements

I.B.2.a) Périodicité

Les prélèvements sanguins sont réalisés tous les mardis, le lundi étant obligatoirement une journée de repos ou de travail très léger. Une période horaire comprise entre 11h et 15h est choisie pour réaliser les prises de sang ce qui permet de respecter la tranquillité des chevaux. Le premier prélèvement est effectué le mardi 18 mars 2008 et le dernier le mardi 9 septembre 2008.

I.B.2.b) Matériel

Les prises de sang sont réalisées à l'aide d'un système vacutainer stérile muni d'aiguilles 32 mm x 0.8 mm. Trois tubes (matière plastique) sont nécessaires pour les analyses : un tube

sec, un tube fluoré et un tube hépariné. Une compresse imbibée d'alcool à 70° permet une aseptie légère au niveau du site de ponction.

I.B.2.c)Méthode

Les prélèvements se font au niveau des veines jugulaires droite ou gauche de façon alternée, de préférence au tiers supérieur. Les chevaux sont laissés dans leur box et les prises de sang sont réalisées dans le calme pour limiter le stress. De plus, tout prélèvement a lieu avant un exercice.

Une compression est réalisée en amont de la ponction. L'aiguille est enfoncée jusqu'à la garde puis chaque tube est inséré dans le système vacutainer. Lorsque tous les tubes sont remplis, l'aiguille est retirée et une compression est effectuée au moins une minute. Pendant ce temps, les tubes sont lentement agités pour assurer un bon mélange sang/anticoagulants (tubes fluoré et hépariné) ou contact sang/paroi (tube sec).

Chaque tube est identifié et placé verticalement sur un porte tube. Une fois que tous les chevaux ont été prélevés, les tubes sont placés à une température d'environ 4°C. Ils sont ensuite acheminés au laboratoire pour analyse.

Les éventuels problèmes rencontrés lors des prélèvements sont notés tels que cheval stressé, hématome périveineux, difficulté de prélèvements...

I.B.2.d)Conservation

Les tubes sont conservés au frais, à environ 4°C, jusqu'à leurs analyses. Celles-ci sont réalisées le plus rapidement possible et dans une limite maximale de 24 heures.

I.B.3.Les analyses

Elles sont réalisées toutes les semaines par un même laboratoire et selon les mêmes méthodes reproductibles. Les analyseurs utilisés font l'objet d'un calibrage quotidien avant toute analyse. Toutes les données présentées dans la suite de ce paragraphe ont été fournies par le laboratoire.

I.B.3.a)Gestion des échantillons

Les échantillons sont déposés au laboratoire et gérés ensuite selon la procédure détaillées Figure 35. La centrifugation des tubes primaires se fait à 3900 tours/min pendant 10 minutes par une centrifugeuse Sigma 6K15. Le sérum est ensuite prélevé et disposé dans des tubes secondaires en quantité suffisante pour les différentes analyses.

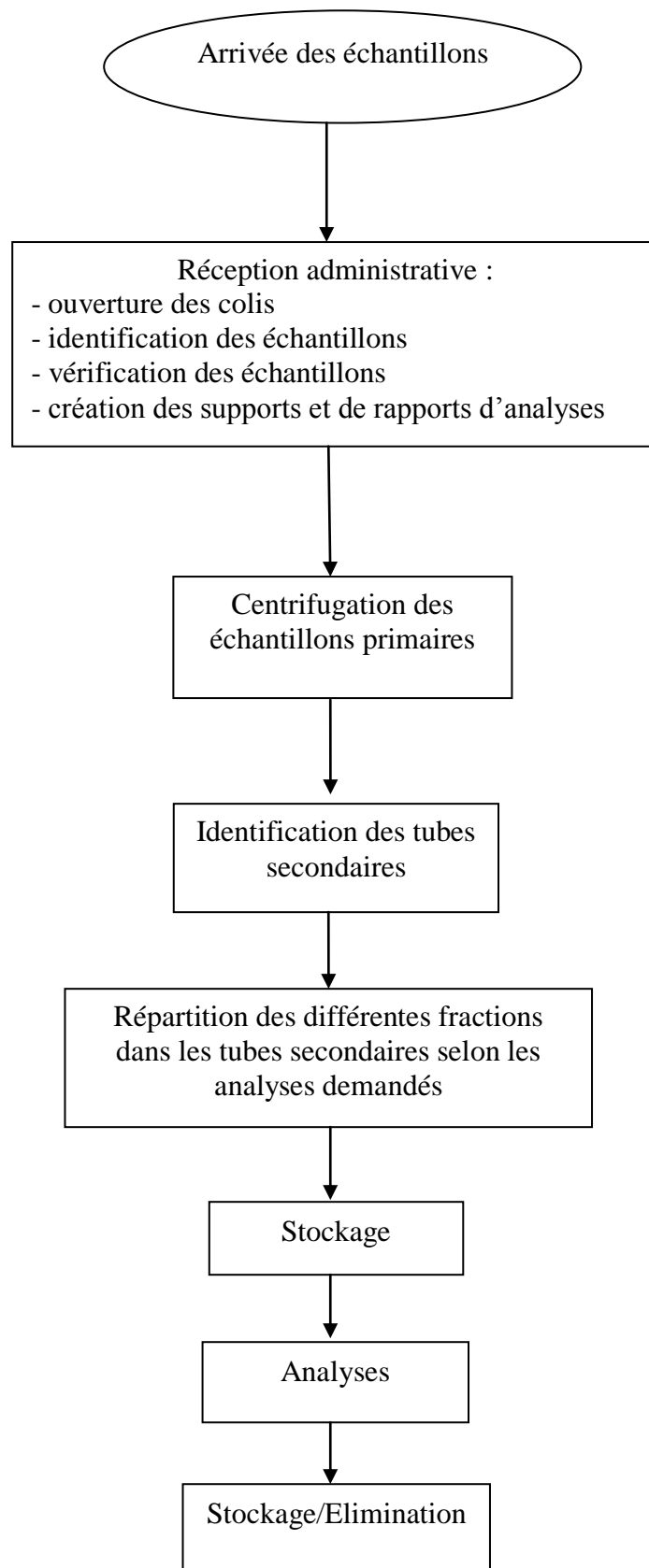


Figure 35 : Diagramme de la gestion des échantillons au laboratoire.

I.B.3.b) Choix des paramètres analysés

Le choix des paramètres analysés doit permettre d'obtenir un bilan biochimique général et relatif à l'expérimentation en rapport avec la physiologie de l'effort et l'alimentation.

Les électrolytes sanguins (chlore, calcium total, magnésium, sodium, potassium et bicarbonates) sont dosés pour vérifier qu'il n'existe pas de carence et que les éventuelles pertes (sudorales,...) sont bien remplacées.

Les enzymes sanguines suivies sont : CK, ASAT et Pal. En effet, les CK et les ASAT sont corrélées à l'intégrité musculaire et peuvent renseigner sur des épisodes de myosite passés inaperçus. Les valeurs obtenues pour les Pal sont à interpréter en parallèle de celles obtenues pour les ASAT et renseignent sur d'éventuels troubles d'origine hépatique, biliaire ou intestinale.

Le glucose, le cholestérol et les triglycérides sont dosés car les deux concentrés utilisés sont principalement caractérisés par des taux de matières grasses et de glucides très éloignés. L'acide bêta-hydroxybutyrate, paramètre potentiellement indicatif du métabolisme énergétique (cycle de Krebs), n'est jamais dosé chez le cheval et cette étude est l'occasion d'établir des valeurs de référence sur des chevaux sains et éventuellement de voir des modifications selon l'alimentation.

Le dosage des protéines totales et de l'albumine permet d'obtenir par différence le taux de globulines. L'albumine étant synthétisée par le foie, il est intéressant de savoir s'il existe des différences lorsque le foie est soumis à une alimentation riche en acides gras.

La créatinine permet en outre d'évaluer le taux de filtration rénale. Cependant, comme elle est corrélée à la masse musculaire et au niveau d'activité physique, son suivi sur 6 mois peut révéler des variations (notamment sur des chevaux qui débute l'entraînement).

L'urée est synthétisée par le foie et sa production est proportionnelle au taux protéique alimentaire. Les variations d'urémie peuvent néanmoins dépendre d'autres facteurs (médications, pathologie, catabolisme protéique...) (cf. partie II, bilans sanguins).

Le CO₂ total permet d'avoir une valeur approximative des bicarbonates qui joue un rôle dans la régulation du pH sanguin.

Toutes les données doivent être observées de façon individuelle mais aussi de façon globale, toujours en rapport avec l'état clinique de chaque équidé et les éventuels problèmes rapportés.

L'insulinémie, bien que très intéressante à doser pour notre étude, n'a pas pu être mesurée, compte tenu de difficultés analytiques à cette période.

I.B.3.c) Méthode de dosage des différents paramètres suivis

Les différents paramètres sont tous analysés à partir du sérum mais les tubes utilisés pour les prélèvements sont variables (cf.

Tableau 14). Toutes les analyses sont réalisées par l'HITACHI 717 sauf mention contraire.

I.B.3.c)(1) Les électrolytes sanguins

Le chlore, le calcium total, le magnésium et les bicarbonates sont mesurés par méthode colorimétrique. Le sodium et le potassium sont dosés par le NOVA 5 par potentiométrie directe.

I.B.3.c)(2)Les enzymes sanguines

I.B.3.c)(2)(a)Créatine phosphokinase

La méthode standard optimisée par la DGKC (Deutsche Gesellschaft für Klinische Chemie) permet un dosage par cinétique UV.

I.B.3.c)(2)(b)Aspartate aminotransferase

Le test utilisé une méthode cinétique UV développée selon les recommandations de l'IFCC International Federation of Clinical Chemistry). Le dosage se fait sans ajout de phosphate-5-pyridoxal (activateur des transaminases, insuffisance endogène possible chez des individus souffrant de certaines maladies).

I.B.3.c)(2)(c)Phosphatase alcaline

Les PAL sont dosées selon une méthode colorimétrique.

I.B.3.c)(3)Les protéines sanguines

I.B.3.c)(3)(a)Protéines totales

Elles sont dosées à partir du sérum par une méthode colorimétrique reposant sur la réaction du biuret (formation de complexe d'ions cuivriques avec la liaison peptidique, en milieu alcalin). La coloration violette du complexe formé est proportionnelle à la concentration en protéines dans l'échantillon.

I.B.3.c)(3)(b)Albumine

Le kit SAS-MX protéines Sériques est utilisé pour la séparation et la quantification des protéines sériques par électrophorèse en gel d'agarose. On obtient ainsi 5 fractions principales selon leur charge en gel d'agarose : albumine, alpha 1, alpha 2, bêta et gammaglobulines. Les protéines sont ensuite colorées pour permettre leur visualisation et l'interprétation semi-quantitative.

I.B.3.c)(4)Urée

Une méthode cinétique UV avec intervention de l'enzyme uréase permet de doser l'urée présente dans l'échantillon.

I.B.3.c)(5)Créatinine

La créatinine réagit en solution alcaline avec le picrate pour former un complexe coloré. La quantité de complexe formée est ensuite mesurée.

I.B.3.c)(6)Glucose

Le dosage est effectué par méthode colorimétrique après oxydation du glucose. Le prélèvement est réalisé sur un tube fluoré ce qui permet d'inhiber la glycolyse.

I.B.3.c)(7)Cholestérol

La détermination du cholestérol se fait après hydrolyse enzymatique et oxydation. La quantité d'indicateur colorimétrique obtenu permet d'évaluer la quantité de cholestérol présent au départ.

Tableau 14 : Méthodes de dosage des différents paramètres analysés et valeurs usuelles

Paramètres	Type de prélèvement	Domaine de mesure	Valeurs usuelles	Méthodes
Calcium	tube hépariné ou tube sec	0-25 mmol/L	2.67-3.09 mmol/L ^a 2.73-3.23 mmol/L ^a	Colorimétrie à l'arsenazo III
Magnésium	tube hépariné ou tube sec	0-80 mmol/L	0.66-0.95 mmol/L ^a 0.7-0.9 mmol/L ^a	Colorimétrie au bleu de xylydyl
Potassium	tube hépariné ou tube sec	1-10 mmol/L	2.1-4.2 mmol/L ^a 2.9-4.4 mmol/L ^a	Potentiométrie directe
Sodium	tube hépariné ou tube sec	60-200 mmol/L	134-142 mmol/L ^a 137-143 mmol/L ^a	Potentiométrie directe
Chlore	tube hépariné ou tube sec	0-700 mmol/L	94-106 mmol/L ^a 96-102 mmol/L ^a	Colorimétrie
CO ₂ total	tube hépariné ou tube sec	0-500 mmol/L	22-31 mmol/L ^c	Enzymatique
CPK	tube hépariné ou tube sec	0-3000 UI/L	2-147 U/L ^a 18-217 U/L ^a	cinétique UV selon DGKC, substrat déclenchant, 37 °C
ASAT	tube hépariné ou tube sec	0-1600 UI/L	141-330 U/L ^a 123-789 U/L ^a	Colorimétrie Sans P5P IFCC/SFBC 37 °C
Pal	tube hépariné ou tube sec	0-8582,5 UI/L	26-92 U/L ^a 24-67 U/L ^a	Colorimétrie
Protéines totales	tube hépariné ou tube sec	0-300 g/L	57-74 g/L ^a 53-74 g/L ^a	Colorimétrie Réaction du biuret
Albumine	tube sec	0-300 g/L	29-36 g/L ^a 27-34 g/L ^a	Electrophorèse sur gel d'Agarose
Urée	tube hépariné ou tube sec	0-66,6 mmol/L	4.0-8.6 mmol/L ^a 2.8-5.0 mmol/L ^a	cinétique à l'uréase
Créatinine	tube hépariné ou tube sec	0-3975 mmol/L	80-185 mmol/L ^a 80-150 mol/L ^a	Réaction au picrate alcalin sans déprotéinisation
Glycémie	tube fluoroxalate	0-5 g/l	0.69-1.5 g/L ^a 0.63-1.01 g/L ^a	Colorimétrie
Cholestérol	tube hépariné ou tube sec	0-97 mmol/L	1.89-3.57 mmol/L ^a 1.58-2.90 mmol/L ^a	Colorimétrie
Triglycérides	tube hépariné ou tube sec	0-56,5 mmol/L	0.27-0.52 mmol/L ^b	Colorimétrie
acide β-OH	tube sec	0,2-6 mmol/L		Colorimétrie tampon Tris 100 Mm pH 8,5

^a : LUMSDEN et al (1980) : *thoroughbred/standardbred*

^b : DUNKEL et MCKENZIE (2003)

^c : TORIBIO et al. (2001)

I.B.3.c)(8)Triglycérides

Le dosage se fait par un test enzymatique photométrique avec utilisation de glycérol-3-phosphate-oxydase. L'indicateur coloré obtenu à la suite de diverses réactions permet la quantification des triglycérides.

I.B.3.c)(9)Acide bêta-hydroxybutyrate

Le dosage de l'acide bêta-hydroxybutyrate est effectué par méthode colorimétrique tampon à pH 8.5.

I.B.3.c)(10)CO₂ total

Le CO₂ total est mesuré, après carboxylation du phosphoenolpyruvate et oxydation enzymatique, par détermination² de l'absorbance de l'échantillon.

I.B.4.Rationnement alimentaire

I.B.4.a)Estimation du poids vif

Les chevaux ont tous été toisés la première semaine de l'étude (sauf Prémice le 11 avril 2008) et cette valeur a été vérifiée notamment pour les plus jeunes qui pourraient encore grandir au cours de la période de suivi. Le périmètre thoracique est également évalué au début de l'étude puis une fois par mois. La formule utilisée pour estimer le poids vif des animaux est celle présentée au paragraphe II.C.4)a. :

$$\text{Poids vif (kg)} = 4,3 \times \text{PT} + 3,0 \times \text{HG} - 785$$

(± 26 kg)

Une estimation à l'aide d'un ruban mesureur est aussi pratiquée.

Les deux valeurs obtenues sont ainsi classées tous les mois dans un tableau pour chaque équidé. Le but n'est pas de connaître le poids exact mais bien de contrôler s'il y a des variations de poids. D'autre part, l'œil de l'expérimentateur permet un contrôle subjectif de l'état corporel des chevaux, par l'évaluation des zones classiques de dépôt graisseux. Les valeurs de départ (18 mars 2008 pour tous sauf pour Prémice 11 avril 2008) sont récapitulées dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Valeurs de départ pour la hauteur au garrot, le périmètre thoracique, l'estimation du poids par calcul ou par bandeau mesureur et la note d'état corporel.

	Hauteur au garrot sans les fers (en cm)	Périmètre thoracique (en cm)	Estimation du poids par calcul (en kg)	Mesure au bandeau (en kg)	Note d'état corporel
Oros des Aunets (1)	178.5	212	662.1	689	3
Jupiter de Bros(2)	165.5	196	554.3	562	3
Quiet Boy Montagne (3)	178.5	204	627.7	624	3
Quetchuan Montagne (4)	161	182	480.6	461	2.5-3
Lampiris (5)	163	183	490.9	468	2-2.5
Ludovic (6)	164	188	515.4	503	3
Jet de Parménie (7)	166.5	186	514.3	489	2.5-3
Guerrière II (8)	170.5	192	552.1	532	3
Prémice des Prés (9)	155.5	179	451.2	441	2.5

Des numéros sont attribués aux chevaux et seront repris dans les tableaux ultérieurement.

I.B.4.b) Les aliments

I.B.4.b)(1) La paille

Les litières sont constituées de paille de blé sauf pour Jupiter pour qui des mesures hygiéniques sont prises car il est sujet à une maladie obstructive chronique pulmonaire (boîte sur copeaux). Les boîtes sont paillées tous les matins au moins deux heures après la distribution des concentrés. La paille est consommée à raison de 1 à 2 kg par jour : elle sert avant tout de litière et la distribution rapprochée du foin en limite la consommation. Les apports qu'elle fournit sont faibles et ne seront pas pris en compte.

I.B.4.b)(2) Le foin

Il est distribué juste après la paille à raison d'environ 5 kg par cheval. Pour Jupiter, le foin est mis à tremper au moins 45 minutes avant sa distribution, toujours dans le cadre des mesures hygiéniques et il reçoit environ 5 kg en deux fois (matin et après midi). Les bottes à disposition pendant la durée de l'expérimentation sont issues d'une même prairie principalement constituée de graminées. Le foin a fait l'objet d'une analyse à partir de

plusieurs échantillons prélevés sur plusieurs bottes à intervalle de temps et les résultats sont présentés dans le Tableau 16. Le foin est de qualité moyenne, assez fin et blanchâtre.

Tableau 16 : caractéristiques analytiques du foin distribué

	Unités	/brut	/MS
MS	g/kg	923,4	1000
<u>Constituants selon schéma de Weende</u>			
MAT	g/kg	49,2	53,3
CB	g/kg	337,0	365,0
Cendres brutes	g/kg	57,9	62,7
<u>Minéraux</u>			
P	g/kg	1,11	1,20
Ca	g/kg	4,64	5,02

MS : Matière Sèche ; MAT : Matière Azotée Totale ; CB : Cellulose Brute

Ce foin présente une valeur d'environ 0.5 UFC/kg de MS et d'environ 16 g MADC/kg de MS (ce qui est peu mais l'intérêt de la distribution du foin est avant tout de faire du lest, de limiter les périodes de jeûne et d'éviter l'ennui pour ces chevaux qui séjournent au boxe). Le rapport Ca/P est de 4.18 ce qui montre un déséquilibre important dans l'apport de ces minéraux à partir de ce foin.

1.B.4.b)(3)Les concentrés

Les chevaux reçoivent les concentrés sur trois repas quotidiens (matin, midi et soir). Les horaires sont assez fixes pour les repas du matin et du midi (7h30 et 12 h ± 30 minutes) mais peuvent varier le soir. En effet, de mars à septembre, le climat s'adoucit et le temps de luminosité est plus long donc les chevaux peuvent être montés par leurs cavaliers plus tard en journée. De la même façon, les retours de compétition se font parfois assez tard et le repas du soir est ainsi décalé. Les deux concentrés utilisés sont détaillés dans la suite de ce paragraphe.

1.B.4.b)(3)(a)Le Master Compétition

Il s'agit d'un aliment complet sous forme de **granulés** pour les chevaux ayant une activité intense. La composition, les teneurs en constituants analytiques, en vitamines et en oligo-éléments et les caractéristiques techniques sont données ci-dessous. La valeur UFC de cet aliment est de 0.96 UFC/kg brut soit 1.08 UFC/kg MS. La quantité de potassium est de 10.55 g/kg brut, celle de chlore de 7.66 g/kg brut et celle de lysine de 5.24 g/kg brut. Le Master compétition est distribué en premier, c'est-à-dire : de la semaine 1 à la semaine 13.

Master COMPETITION			
COMPOSITION		TENEURS EN CONSTITUANTS ANALYTIQUES	
Son de blé, Orge,		Humidité maxi	11,5 %
Luzerne déshydratée,		Matière cellulosique brute	11,5 %
Tourteau de tournesol, Mélasse de canne,		Mat. minérale brute	7,0 %
Graines de lin extrudées,		Matière protéique brute	13,0 %
Carbonate de calcium, Sel,		Matière grasse brute	3,2 %
Fructo-oligosaccharides.			
VITAMINES ET OLIGO ELEMENTS - au Kg brut			
Vitamine A	15.000.U.I.	Fer	100 mg.
Vitamine D3	2.500.U.I.	Cuivre	25 mg.
Vitamine E	120.U.I.	Zinc	75 mg.
Vitamine B1	10 mg.	Manganèse	100 mg.
Vitamine B2	10 mg.	Iode	1,6 mg.
Vitamine B6	6 mg.	Cobalt	1,0 mg.
Vitamine B12	0,02 mg.	Sélénium	0,22 mg.
Vitamine PP	21 mg.	Chlorure de Choline	215 mg.
Vitamine C	35 mg.		
Biotine	0,2 mg.		
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES - au Kg brut			
Calcium	12 g.	Mat.azotée digestible	96 g.
Phosphore	6 g.		
Sodium	4,1 g.	Oméga 3	10 g.
Magnésium	3,3 g.	Oméga 6	16 g.
Contient aussi : lysine, méthionine, cystine, arginine, tryptophane, thréonine, leucine, isoleucine, valine, glutamine.			
1 litre = 0,650 Kg environ			

Figure 36 : Composition ; teneurs en constituants analytiques, en vitamines et en oligo-éléments et caractéristiques techniques du Master Compétition (LAMBEY ; 2008)

I.B.4.b)(3)(b)Le Master King

Cet aliment complémentaire **floconné** est destiné aux chevaux de sport. Il peut être utilisé pour les chevaux effectuant des efforts courts comme en CSO, des efforts de durée moyenne comme en CCE ou des efforts longs comme en endurance ; la quantité d'aliments distribués en complément étant ajustée selon le type d'effort. La composition, les teneurs en constituants analytiques, en vitamines et en oligo-éléments et les caractéristiques techniques sont données ci-dessous. La valeur UFC de ce concentrés est de 1.13 UFC/kg brut soit 1.26 UFC/kg MS. La quantité de potassium est de 9.88 g/kg brut, celle de chlore de 5.27 g/kg brut, celle de lysine de 5.47 g/kg brut. Le Master King est distribué en second soit de la semaine 14 à la semaine 26.

COMPOSITION		TENEURS EN CONSTITUANTS ANALYTIQUES	
Flocons de maïs, Luzerne déshydratée,		Humidité maxi	11 %
Son de blé, Huile de soja,		Matière cellulosique brute	9 %
Flocons d'orge, Orge expansée,		Cendres brutes	7,5 %
Maïs expansé, carbonate de calcium,		Matière protéique brute	12 %
Flocons de pois, Sel, Magnésium,		Matière grasse brute	12 %
Carottes déshydratées, Mélasse de canne,			
Graines de lin extrudées, Lysine,			
Phosphate bicalcique, Remoulage de blé, L-carnitine.			
VITAMINES ET OLIGO ELEMENTS - au Kg brut			
Vitamine A	15.000.U.I.	Cuivre	35 mg.
Vitamine D3	2.500.U.I.	Zinc	105 mg.
Vitamine E	400.U.I.	Manganèse	100 mg.
Vitamine B1	10 mg.	Iode	1,5 mg.
Vitamine B2	10 mg.	Cobalt	1,0 mg.
Vitamine B6	6 mg.	Sélénium	0,3 mg.
Vitamine B12	0,03 mg.	Fer	110 mg.
Vitamine PP	20 mg.	Chlorure de Choline	245 mg.
Vitamine C	45 mg.	L. Carnitine	42 mg.
		Biotine	0,20 mg.
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES - au Kg brut			
Calcium	12,0 g.	Mat. azotée digestible	95 g.
Phosphore	6,0 g.		
Sodium	2,6 g.	Oméga 3	20 g.
Magnésium	5,0 g.	Oméga 6	60 g.
Fabriqué sans substance prohibée par le code des courses et des sports équestres			1 litre = 0,550 Kg environ

Figure 37 : Composition ; teneurs en constituants analytiques, en vitamines et en oligo-éléments et caractéristiques techniques du Master King (LAMBÉY ; 2008)

I.B.4.b)(3)(c) Comparaison des deux concentrés

La différence majeure entre ces deux concentrés est la teneur en matière grasse. En effet, le Master Compétition comporte 3.2 % de matière grasse brute contre 12 % pour le Master King. Les taux de vitamine E, de sélénium (antioxydants) sont donc augmentés pour le Master King et on retrouve de la L-carnitine dont on a pu voir le rôle dans l'oxydation des acides gras précédemment.

Les Oméga 3 et 6 sont également en proportions augmentées ce qui souligne la qualité de la matière grasse apportée.

Les autres constituants (minéraux, vitamines et oligo-éléments) sont dans des proportions relativement voisines pour les deux concentrés.

On constate que le ratio MADC/UFC est très élevé en comparaison des 70 g recommandés (cf. « évaluations des besoins nutritionnels et apports alimentaires »).

Tableau 17 : Tableau comparatif des deux concentrés utilisés.

	Master Compétition	Master King
Matière grasse brute	3.2 %	12 %
Oméga 3	10 g/kg brut	20 g/kg brut
Oméga 6	16 g/kg brut	60 g/kg brut
MADC	96 g/kg brut	95 g/ kg brut
UFC	0.96 UFC/kg brut	1.13 UFC/kg brut
MADC/UFC	100 g	84 g
Cellulose brute	11.5%	9 %
Vitamine E	120 U.I./kg brut	400 U.I./kg brut
Sélénium	0.22 mg/kg brut	0.3 mg/kg brut
L-carnitine	0 mg/kg brut	42 mg/kg brut

I.B.4.b)(4)L'eau

Les chevaux disposent tous d'un abreuvoir automatique dont le fonctionnement et l'état de propreté sont vérifiés régulièrement. Lors des sorties en compétition, ils sont la plupart du temps abreuvés au seau et la consommation d'eau peut être restreinte notamment la nuit.

I.B.4.b)(5)Complément en minéraux

Une pierre à lécher est mise au début de l'expérimentation dans chaque boxe. Chaque semaine, on évalue de façon subjective s'il y a eu consommation ou non. Il s'agit d'un bloc de sel de 5 kg avec 39.3 % de sodium. Ce produit est fabriqué sous assurance qualité certifiée AFAQ ISO 9002.

I.B.4.c)Les rations

On considère que tous les chevaux effectuent sur une semaine un travail moyen au début de l'expérimentation même si certains jours le travail est plus léger et d'autres jours plus intense. Ceci représente une moyenne et permet de donner la même quantité d'aliments par jour à chaque cheval. Seul Prémice effectue un travail léger les premières semaines puis passe à un travail moyen et verra sa ration en concentrés augmenter.

Tous les éléments nutritifs ne peuvent être pris en compte pour l'établissement d'une ration. Aussi, on s'attachera particulièrement à l'ingestibilité (quantité de matière sèche ingérable) et à certaines caractéristiques telles que : UFC, MADC, cellulose brute, calcium, phosphore, magnésium et potassium. Il est admis que les chevaux ne sont pas carencés pour les autres minéraux apportés par les concentrés spécialement conçus pour les chevaux de sport (cf. fiche descriptive Master compétition et Master King). De la même manière, la mise à disposition d'une pierre à sel permet de prévenir les pertes sudorales en NaCl.

I.B.4.c)(1)Les besoins

Le Tableau 18 récapitule les besoins nutritionnels estimés pour chaque cheval en fonction du poids de départ et sur la base d'un travail moyen. Les valeurs ont été déterminées à l'aide des différentes données recueillies dans la partie « base théorique de l'alimentation du cheval de sport » (première partie : II.A.2.) Il s'agit là de valeurs approximatives (poids estimé, données estimées à partir de tableaux de valeurs...). Il est donc indispensable de suivre la bonne santé physique des chevaux via les suivis de poids corporel, de note d'état et de tolérance au travail. Des ajustements sur l'alimentation peuvent ainsi être apportés au cours de la saison de travail que ce soit par une augmentation, une diminution ou un changement d'aliments.

Tableau 18 : Tableau des besoins nutritionnels en fonction du poids et de l'activité (travail moyen).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Poids (kg)	662	554	628	481	491	515	514	552	451
MS max (kg)	14,0	12,5	13,5	11,8	12,0	12,0	12,0	12,5	11,5
UFC	8,7	8,0	9,0	7,8	7,7	7,9	7,9	8,0	7,4
MADC (g)	605	555	620	550	535	545	545	555	515
CB minimum 15% (g)	2100	1875	2025	1763	1800	1800	1800	1875	1725
Ca (g)	105,0	93,8	101,3	88,1	90,0	90,0	90,0	93,8	86,3
P (g)	58,3	52,1	56,3	49,0	50,0	50,0	50,0	52,1	47,9
Mg (g)	21,0	18,8	20,3	17,6	18,0	18,0	18,0	18,8	17,3
K (g)	84,0	75,0	81,0	70,5	72,0	72,0	72,0	75,0	69,0
Cl (g)	44,8	40,0	43,2	37,6	38,4	38,4	38,4	40,0	36,8
Na (g)	44,8	40,0	43,2	37,6	38,4	38,4	38,4	40,0	36,8

On considère pour le calcium que les besoins sont de l'ordre de 0.75 % de la MS ingérée. Le rapport optimal Ca/P de 1.8 permet de déterminer les valeurs théoriques des besoins en phosphore. Les besoins en potassium sont évalués à 0.6 % de la MS. Les besoins en magnésium sont de l'ordre de 0.15 % de la MS. Ces valeurs sont tirées de la partie « besoins en minéraux » vue précédemment. Les besoins en chlorure de sodium sont estimés ici à 3.2 g/kg de MS (cf. Tableau 7).

I.B.4.c)(2)Les apports

I.B.4.c)(2)(a)Foin

Chaque cheval reçoit environ 5 kg de foin brut soit environ 4.6 kg MS de foin. Les valeurs nutritives apportées sont détaillées dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Valeurs nutritives apportées par le foin à chaque cheval.

	/kg MS	Total : /4.60 kg MS
UFC	0.5	2.3
MADC (g)	16	73.6
MADC/UFC	32	32
CB (g)	365.0	1679
Ca (g)	5.02	23.9
P (g)	1.20	5.5
Ca/P	4.18	4.18

I.B.4.c)(2)(b)Master Compétition

Les rations de départ sont celles mises en place depuis au moins 6 mois (sauf pour Prémice arrivé en avril) puisque le Master Compétition est l'aliment utilisé normalement. Elles ont été établies « à l'œil » et ont assuré jusqu'à présent un bon maintien de l'état corporel et de la forme physique.

Tableau 20 : Valeurs nutritives apportées par le Master Compétition à chaque cheval

			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Quantité :											
kg brut			7,8	5,9	7,2	3,9	3,9	4,6	5,2	5,9	2,9
kg MS			8,8	6,6	8,1	4,4	4,4	5,1	5,9	6,6	3,3
	/kg brut	/kg MS									
UFC	0,96	1,1	9,6	7,2	8,8	4,8	4,8	5,6	6,4	7,2	3,6
MADC (g)	96	108,5	956,0	717,0	876,4	478,0	478,0	557,7	637,4	717,0	358,5
CB (g)	115	129,9	1145,3	858,9	1049,8	572,6	572,6	668,1	763,5	858,9	429,5
Ca (g)	12	13,6	119,5	89,6	109,5	59,8	59,8	69,7	79,7	89,6	44,8
P (g)	6	6,8	59,8	44,8	54,8	29,9	29,9	34,9	39,8	44,8	22,4
Mg (g)	3,3	3,7	32,9	24,6	30,1	16,4	16,4	19,2	21,9	24,6	12,3
K (g)	10,55	11,9	105,1	78,8	96,3	52,5	52,5	61,3	107,3	78,8	39,4
Cl (g)	7,66	8,7	76,3	57,2	69,9	38,1	38,1	44,5	50,9	57,2	28,6
Na (g)	4,1	4,6	40,8	30,6	37,4	20,4	20,4	23,8	27,2	30,6	15,3

I.B.4.c)(2)(c)Master King

La quantité en litre de Master King distribuée lors du changement de concentrés est la même que celle de Master Compétition (la quantité en kg est donc moins importante).

Tableau 21 : Valeurs nutritives apportées par le Master King à chaque cheval

			1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Quantité :									
		kg brut	6,6	5	6,1	3,3	3,3	3,85	4,4	5	3,3
		kg MS	7,4	5,6	6,8	3,7	3,7	4,3	4,9	5,6	3,7
	/kg brut	/kg MS									
UFC	1,13	1,3	9,4	7,1	8,6	4,7	4,7	5,5	6,3	7,1	4,7
MADC (g)	95	106,7	791,6	593,7	725,6	395,8	395,8	461,7	527,7	593,7	395,8
CB (g)	90	101,1	749,9	562,4	687,4	375,0	375,0	437,4	499,9	562,4	375,0
Ca (g)	12	13,5	100,0	75,0	91,7	50,0	50,0	58,3	66,7	75,0	50,0
P (g)	6	6,7	50,0	37,5	45,8	25,0	25,0	29,2	33,3	37,5	25,0
Mg (g)	5	5,6	41,7	31,2	38,2	20,8	20,8	24,3	27,8	31,2	20,8
K (g)	9,88	11,1	82,3	61,7	75,5	41,2	41,2	48,0	54,9	61,7	41,2
Cl (g)	5,27	5,9	43,9	32,9	40,3	22,0	22,0	25,6	29,3	32,9	22,0
Na (g)	2,6	2,9	21,7	16,2	19,9	10,8	10,8	12,6	14,4	16,2	10,8

I.B.4.c)(2)(d)Bilan

Les tableaux suivants font la comparaison entre les besoins nutritionnels estimés et les apports alimentaires réels sur la base de la fiche de rationnement de l'INRA. Certaines données (autres oligo-éléments et minéraux) ne sont pas détaillées.

Tableau 22 : Bilan besoins/apports nutritionnels (foin + Master Compétition)

	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
MS (kg)	14,0	13,4	12,5	11,2	13,5	12,7	11,8	9	12,0	9,0	12,0	9,7	12,0	10,5	12,5	11,2	11,5	7,9
UFC	8,7	11,9	8,0	9,5	9,0	11,1	7,8	7,1	7,7	7,1	7,9	7,9	7,9	7,9	8,0	9,5	7,4	5,9
MADC (g)	605	1030	555	791	620	950	550	551,6	535	552	545	631	545	711	555	791	515	432
MADC/UFC (g)	70	87	69	83	69	86	71	78	69	78	69	80	69	82	69	83	70	73
CB (g)	2100	2824	1875	2538	2025	2729	1763	2251,6	1800	2252	1800	2347	1800	2443	1875	2538	1725	2109
Ca (g)	105,0	143,4	93,8	113,5	101,3	133,4	88,1	83,7	90,0	83,7	90,0	93,6	90,0	103,6	93,8	113,5	86,3	68,7
P (g)	58,3	65,3	52,1	50,3	56,3	60,3	49,0	35,4	50,0	35,4	50,0	40,4	50,0	45,3	52,1	50,3	47,9	27,9
Ca/P	1,8	2,2	1,8	2,3	1,8	2,2	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,3	1,8	2,3	1,8	2,3	1,8	2,5
Mg (g)	21,0	32,9	18,8	24,6	20,3	30,1	17,6	16,4	18,0	16,4	18,0	19,2	18,0	21,9	18,8	24,6	17,3	12,3
K (g)	84	105,1	75	78,8	81	96,3	70,5	52,5	72,0	52,5	72,0	61,3	72,0	107,3	75,0	78,8	69,0	39,4
Cl (g)	44,8	76,3	40,0	57,2	43,2	69,9	37,6	38,1	38,4	38,1	38,4	44,5	38,4	50,9	40,0	57,2	36,8	28,6
Na (g)	44,8	40,8	40,0	30,6	43,2	37,4	37,6	20,4	38,4	20,4	38,4	23,8	38,4	27,2	40,0	30,6	36,8	15,3

La première série de valeurs (en gras) correspond aux besoins nutritionnels estimés (cf. Tableau 18) et la deuxième série de valeurs (police normale) représente les apports fournis par le foin et les concentrés. Les apports en magnésium, en potassium, en chlore et en sodium sont uniquement déterminés pour les concentrés.

Tableau 23 : Bilan besoins/apports nutritionnels (foin + Master King)

	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
MS (kg)	14,0	12,0	12,5	10,2	13,5	11,4	11,8	8,3	12,0	8,3	12,0	8,9	12,0	9,5	12,5	10,2	11,5	8,3
UFC	8,7	11,7	8,0	9,4	9,0	10,9	7,8	7,0	7,7	7,0	7,9	7,8	7,9	8,6	8,0	9,4	7,4	7
MADC (g)	605	865	555	667	620	799	550	469	535	469	545	535	545	601	555	668	515	469
MADC/UFC (g)	70	74	69	71	69	73	71	67	69	67	69	69	69	70	69	71	70	67
CB (g)	2100	2429	1875	2241	2025	2366	1763	2054	1800	2054	1800	2116	1800	2179	1875	2241	1725	2054
Ca (g)	105,0	123,9	93,8	98,9	101,3	115,6	88,1	73,9	90,0	73,9	90,0	82,2	90,0	90,6	93,8	98,9	86,3	73,9
P (g)	58,3	55,5	52,1	43,0	56,3	51,3	49,0	30,5	50,0	30,5	50,0	34,7	50,0	38,8	52,1	43,0	47,9	30,5
Ca/P	1,8	2,2	1,8	2,3	1,8	2,3	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,3	1,8	2,3	1,8	2,4
Mg (g)	21,0	41,7	18,8	31,2	20,3	38,2	17,6	20,8	18,0	20,8	18,0	24,3	18,0	27,8	18,8	31,2	17,3	20,8
K (g)	84,0	82,3	75,0	61,7	81,0	75,5	70,5	41,2	72	41,2	72	48,0	72	54,9	75	61,7	69	41,2
Cl (g)	44,8	43,9	40,0	32,9	43,2	40,3	37,6	22,0	38,4	22	38,4	25,6	38,4	29,3	40,0	32,9	36,8	22
Na (g)	44,8	21,7	40,0	16,2	43,2	19,9	37,6	10,8	38,4	10,8	38,4	12,6	38,4	14,4	40,0	16,2	36,8	10,8

La première série de valeurs (en gras) correspond aux besoins nutritionnels estimés (c.f. Tableau 18) et la deuxième série de valeurs (police normale) représente les apports fournis par le foin et les concentrés. Les apports en magnésium, en potassium, en chlore et en sodium sont uniquement déterminés pour les concentrés.

I.C.Outils statistiques

L'ensemble des données (valeurs des paramètres sanguins pour chaque prélèvement hebdomadaire) est regroupée sous Excel® (Microsoft Corporation, Santa Rosa, Californie).

Pour l'analyse statistique des données, on considère les valeurs pour chaque paramètre sanguin de la semaine 1 à la semaine 26, le changement d'aliment s'effectuant entre les semaines 13 et 14 soit 13 prélèvements (période 1) sous Master compétition (aliment 1) et 13 prélèvements (période 2) sous Master King (aliment 2).

Disposant d'échantillons de petite taille, les données seront analysées à l'aide de tests non paramétriques. Ces tests ne requièrent pas, en effet, impérativement la normalité des distributions ni leur homogénéité. Le logiciel R® (R foundation, Vienne, Autriche) sera utilisé pour réaliser les analyses statistiques.

On choisit de réaliser pour chaque paramètre une comparaison de la moyenne sur la période 1 (correspondant à l'aliment 1) à la moyenne sur la période 2 (correspondant à l'aliment 2) à l'aide du test non paramétrique de Wilcoxon des rangs signés. On choisit d'exclure de nos calculs des moyennes les valeurs des Cpk et des ASAT lorsque le prélèvement se situe respectivement dans les deux jours et les cinq jours post compétition ; l'influence d'un effort rapproché n'étant pas un paramètre que l'on souhaite prendre en compte dans cette étude.

Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

II. Résultats de l'étude et essai d'interprétation

II.A. Paramètres qualitatifs

II.A.1. Population étudiée

- Nombre d'individus

L'étude porte sur 9 chevaux entraînés pour faire du CCE et situés dans une même écurie dans l'Ain.

- Age

L'âge des chevaux est compris entre 4 et 16 ans. L'entraînement et le niveau de compétition sont donc différents.

- Sexe

Parmi les 9 chevaux, nous comptons 6 hongres, 1 jument et 2 mâles.

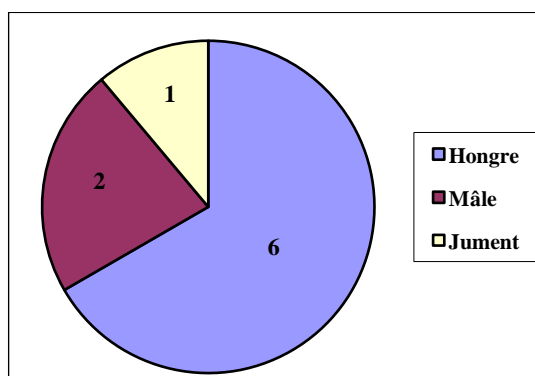


Figure 38 : Répartition de la population étudiée selon le sexe

- Niveau et sortie en compétition

Quiet Boy (3) et Quetchuan (4) Montagne, âgés de 4 ans, ont été débouffés à l'âge de 3 ans et sont donc au travail depuis moins d'un an en mars 2008. Quetchuan n'a participé qu'à un seul CCE car il s'est révélé qu'il n'était pas suffisamment prêt techniquement.

Oros des Aunets (1) a été acquis l'été 2007 et travaille depuis dans le but de sortir en CCE.

Guerrière II (8) est principalement sortie en CSO et débute sa première saison de CCE en 2008.

Prémice des Prés (9) a travaillé pour le saut d'obstacles et commence une carrière en CCE en 2008.

Ludovic (6), pur sang anglais réformé des courses, est mis au travail pour le CCE depuis mars 2007.

Les trois autres chevaux, Lampiris (5), Jet de Parménie (7) et Jupiter de Bros (2), sont des habitués de la discipline et ont déjà concouru.

Le Tableau 24 présente les différentes compétitions auxquelles les chevaux ont participé pendant la durée de l'expérimentation.

Tableau 24 : Type et nombre de compétitions auxquelles les chevaux ont pris part pendant l'étude

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8 Am3 1 CL1	1 Am1 GP 3 Am Elite 1 CIC* 1 CCI*	3 CC4ans 2 CSO CL 4ans	1 CC4ans	1 Am1 4 Am1 GP	1 Am3	2 Am3 7 Am2 2 CSO Am 3	2 Am3 4 Am2 1 Am1	2 Am3

Am : Amateur ; GP : Grand Prix ; CC : Cycle Classique ; CL : Cycle Libre

II.A.2.Suivi

Oros a montré une légère baisse de forme associée à une diminution de sa note d'état corporel à partir du 26 avril et jusque début juin 2008. Un bilan hématologique n'a mis aucune anomalie en évidence. Une coproscopie a été réalisée et s'est révélée négative (vermifugé un mois avant). Le cheval a effectué le même travail durant cette période.

Ludovic a présenté un épisode de colique le 13 avril 2008. Il a également chuté lors d'un concours et a été mis au repos pendant 4 semaines (plaie + lymphangite postérieur droit). Cette période d'arrêt imposé a conduit à une diminution de son rationnement alimentaire (cf. paragraphe B.2) et a une légère baisse de sa note d'état corporel.

La note d'état corporel de Jet a baissé suite à un incident survenu lors d'un transport (05 juillet 2008) au cours duquel le cheval a été blessé.

La charge de travail de Prémice a augmenté (léger à moyen) au cours de l'étude. Son rationnement alimentaire a donc été ajusté (cf. paragraphe B.2) et sa note d'état corporel a augmenté.

II.A.3.Valeurs exclues

Hormis les valeurs des Cpk et des Asat exclues 2 et 5 jours post compétition, nous avons choisi de rejeter les valeurs obtenues lorsque les chevaux étaient au repos pour cause de maladie ou de boiterie (baisse temporaire de la ration alimentaire) ou lorsqu'ils ont dû recevoir un traitement médicamenteux.

Ainsi, cinq prélèvements ont été exclus des analyses de Ludovic : le premier pour cause de colique survenue deux jours avant et les quatre autres car le cheval présentait une plaie associée à une lymphangite et une boiterie du membre postérieur droit.

Un prélèvement a été rejeté pour Guerrière car le sang était hémolysé.

Un prélèvement a été retiré pour Jet et Lampiris car ils se sont blessés dans le transport au retour d'un concours et ont été placés sous antibiotiques et anti-inflammatoires pendant 5 jours.

Les données brutes sont présentées dans le paragraphe D et les valeurs exclues sont indiquées.

II.A.4.Remarques notées au cours de l'étude

Certains aspects qualitatifs ont été remarqués au cours des deux phases d'alimentation et ne sont présentés ici que de manière subjective.

Certains chevaux ont présenté une pousse de la corne plus importante sous Master king, le poil était aussi globalement plus brillant pour tous les chevaux.

La sueur était plus abondante et d'aspect plus mousseux sous Master compétition pour Quiet Boy et Quetchuan, ce qui traduit une composition sans doute plus riche en protéines. L'influence de l'alimentation sur la production sudorale a déjà été mentionnée dans la partie bibliographique et sera discutée.

Les chevaux recevant des rations alimentaires importantes (Oros et Quietboy) présentaient des crottins plus moulés sous Master king et moins odorants. Ils avaient également moins de borborygmes.

Les chevaux avec un tempérament « chaud » paraissaient plus calmes sous Master king.

La consommation des pierres à sel est différente pour chaque cheval. En effet, Ludovic, Guerrière et Lampiris n'ont quasiment pas touché leur bloc de sel durant toute l'expérimentation. Jet, Prémice, Quetchuan et Oros n'utilisaient que très peu leur pierre à lécher entre avril et juin et ont augmenté leur consommation à partir de mi-juillet 2008. Quiet Boy a consommé régulièrement et de façon constante sa pierre à sel. Jupiter a augmenté sa consommation à partir de juillet 2008, il a utilisé 2 blocs de 5 kg en tout sur les 6 mois d'étude.

II.B.Paramètres quantitatifs

II.B.1.Estimation du poids vifs

L'estimation du poids corporel est effectuée une fois par mois. La hauteur au garrot a été contrôlée plus régulièrement pour les deux jeunes chevaux et il n'y a pas eu de croissance notable. Les valeurs sont reportées dans le Tableau 25.

On note que la baisse de forme d'Oros s'accompagne d'une perte de poids notable entre fin avril et fin juin 2008.

La baisse de note d'état de Jet survenue suite à un incident lors d'un transport est corrélée à une diminution de poids sur les valeurs estimées fin juillet et fin août 2008.

On observe une baisse de poids estimé lors de la période de repos imposée à Ludovic de début juin à début juillet 2008 (plaie et lymphangite associée à une boiterie).

Une prise de poids est corrélée à l'augmentation de la note d'état corporel de Prémice et à l'augmentation de son activité physique.

Les valeurs estimées pour Jupiter, Quiet Boy et Lampiris semblent légèrement diminuer après le changement d'aliment puis retrouvent les valeurs de départ.

Quetchuan reste stable.

Guerrière présente des valeurs assez variables (PTmin = 191 cm et PTmax = 196 cm) sans pour autant être associées à une modification de sa note d'état corporel.

Tableau 25 : Suivi du poids corporel des 9 chevaux sur la période d'expérimentation

	23/04/2008			20/05/2008			24/06/2008			27/07/2008			21/08/2008			24/09/2008			
	PT	HG	Poids	BM	PT	Poids	BM	PT	Poids	BM	PT	Poids	BM	PT	Poids	BM	PT	Poids	BM
1	212	178,5	662,1	689	209	649,2	665	205	632	632	207	640,6	648	209	649,2	665	209	649,2	665
2	196	165,5	554,3	562	195	550	555	194	545,7	547	193	541,4	540	194	545,7	547	196	554,3	577
3	204	178,5	627,7	624	204	627,7	624	203	623,4	616	200	610,5	593	201	614,8	601	203	623,4	616
4	183	161	484,9	468	180	472	448	179	467,7	441	180	472	448	179	467,7	441	180	472	448
5	183	163	490,9	468	182	486,6	461	183	490,9	468	182	486,6	461	181	482,3	455	183	490,9	468
6	189	164	519,7	511	188	515,4	503	185	502,5	482	188	515,4	503	188	515,4	503	189	519,7	511
7	186	166,5	514,3	489	187	518,6	496	186	514,3	489	183	501,4	468	183	501,4	468	187	518,6	496
8	193	170,5	556,4	540	191	547,8	525	194	560,7	547	196	569,3	562	192	552,1	532	196	569,3	562
9	179	155,5	451,2	441	181	459,8	455	181	459,8	455	179	451,2	441	182	464,1	461	182	464,1	461

PT : Périmètre Thoracique en centimètres

HG : Hauteur au Garrot sans les fers en centimètres

BM : Valeur du poids donnée par lecture sur bandeau mesureur en kilogramme

Poids : Calcul effectué d'après la formule en kilogramme (+/- 26 kg)

II.B.2.Apports alimentaires

Hormis Prémice et Ludovic qui ont été ponctuellement arrêtés, les chevaux ont reçu les quantités de concentrés présentées dans la partie I.B.4)c.. Les tableaux suivants montrent les modifications sur les apports nutritionnels pour ces deux chevaux (foin + concentrés).

Tableau 26 : Besoins/apports nutritionnels pour Prémice au cours de l'expérimentation

	Prémice				
Dates		10/04/08 au 04/05/08	05/05/08 au 11/06/08	12/06/08 au 27/06/08	27/06/08 au 10/09/08
	Besoins estimés	Master compétition 1.5L/1.5L/1.5L	Master compétition 2L/2L/2L	Master king 2L/2L/2L	Master king 2L/1L/2L
MS (kg)	11,5	7,9	9	8,3	7,7
UFC	7,4	5,9	7,1	7	6,2
MADC (g)	515	432	551,6	469	403,4
CB (g)	1725	2109	2251,6	2054	1991,5
Ca (g)	86,3	68,7	83,7	73,9	65,6
P (g)	47,9	27,9	35,4	30,5	26,3
Mg (g)	17,3	12,3	16,4	20,8	17,4
Cl (g)	36,8	28,6	38,1	22,0	18,3
Na (g)	36,8	15,3	20,4	10,8	9,0

Tableau 27 : Besoins/apports nutritionnels pour Ludovic au cours de la période sous Master king

	Ludovic			
Dates		12/06/08 au 27/06/08 26/08/08 au 10/09/08	28/06/08 au 06/08/08	07/08/08 au 25/08/08
	Besoins estimés	2L/2L/3L	2L/2L/2L	2L/2L/2.5L
MS (kg)	12,0	8,9	8,3	8,6
UFC	7,9	7,8	7	7,4
MADC (g)	545	535	469,4	502,4
CB (g)	1800	2116	2054	2085,2
Ca (g)	90,0	82,2	73,9	78,1
P (g)	50,0	34,7	30,5	32,6
Mg (g)	18,0	24,3	20,8	22,6
Cl (g)	38,4	25,6	22,0	23,8
Na (g)	38,4	12,6	10,8	11,7

A partir du 5 mai, Prémice reçoit 2 litres de Master compétition matin, midi et soir. Au changement d'aliment, il conserve le même litrage. Puis le 28 juin, sa ration est légèrement diminuée (2L/1L/2L) : on estime que le cheval a une note d'état de 3 et un poids satisfaisant.

Suite à sa période de repos, Ludovic reçoit une ration de 2L matin, midi et soir à partir du 28 juin 2008. Le 7 août sa ration est de 2L/2L/2.5L et le 25 août, elle repasse à sa quantité initiale (2L/2L/3L).

II.B.3.Paramètres sanguins

Les différents graphiques présentés dans ce paragraphe (Figure 39 à Figure 54) montrent le suivi de chaque paramètre pour chaque cheval au cours des deux phases d'alimentation (mises en évidence par une séparation verticale sur les graphiques). La représentation graphique arithmétique est choisie par défaut. Néanmoins si des valeurs extrêmes « sortent » du graphique, la fonction logarithmique sera utilisée.

Pour faciliter la mise en page, les unités des différents paramètres sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Ca	mmol/L
Mg	mmol/L
K	mmol/L
Na	mmol/L
Cl	mmol/L
Asat	U/L
Urée	mmol/L
β OH	mmol/L
Cholestérol	mmol/L
Pal	U/L
TG	mmol/L
Glycémie	g/L
CK	U/L
PT	g/L
Albumine	g/L
Créatinine	μ mol/L
CO2	mmol/L

II.B.3.a) Les électrolytes

Les valeurs obtenues au cours de l'étude sont toujours restées dans les valeurs usuelles publiées dans la littérature.

- Calcium total

Tableau 28 : valeur moyenne du calcium total pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	ca1	ca2
guerrière	3,46	3,44
jet	3,29	3,17
jupiter	3,19	3,09
lampiris	3,31	3,26
ludovic	3,40	3,29
oros	3,11	3,03
prémice	3,39	3,32
quetchuan	3,46	3,32
quietboy	3,35	3,24
Moyenne totale	3,33	3,24

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne du calcium total sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.009$). La valeur moyenne a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

- Magnésium

Tableau 29 : valeur moyenne du magnésium pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	mg1	mg2
guerrière	0,78	0,83
jet	0,87	0,90
jupiter	0,76	0,76
lampiris	0,89	0,92
ludovic	0,94	0,93
oros	0,73	0,78
prémice	0,93	0,92
quetchuan	0,93	1,02
quietboy	0,79	0,85
Moyenne totale	0,85	0,88

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne du magnésium sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.04$). La valeur moyenne a tendance à être supérieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

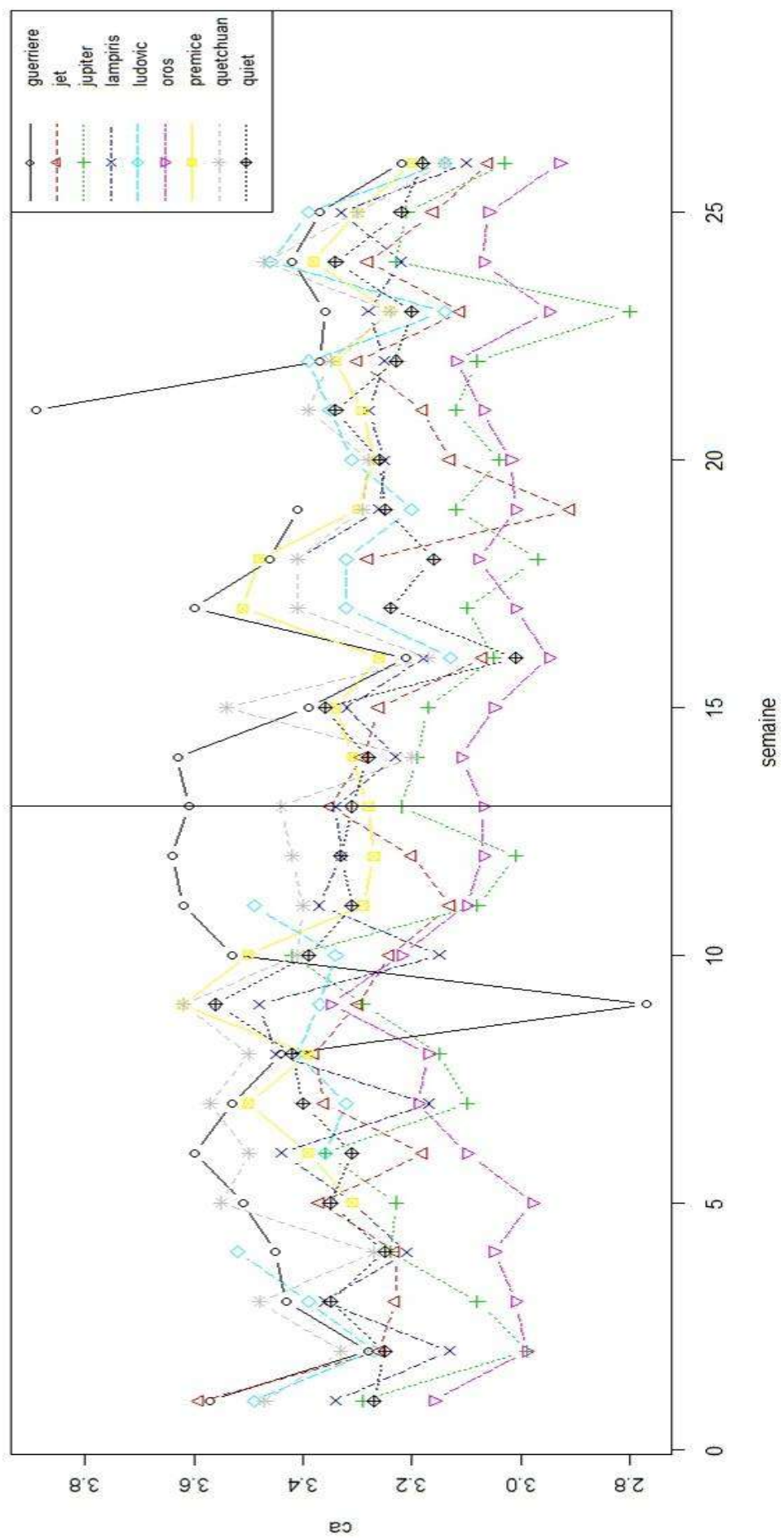


Figure 39 : suivi du calcium total au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

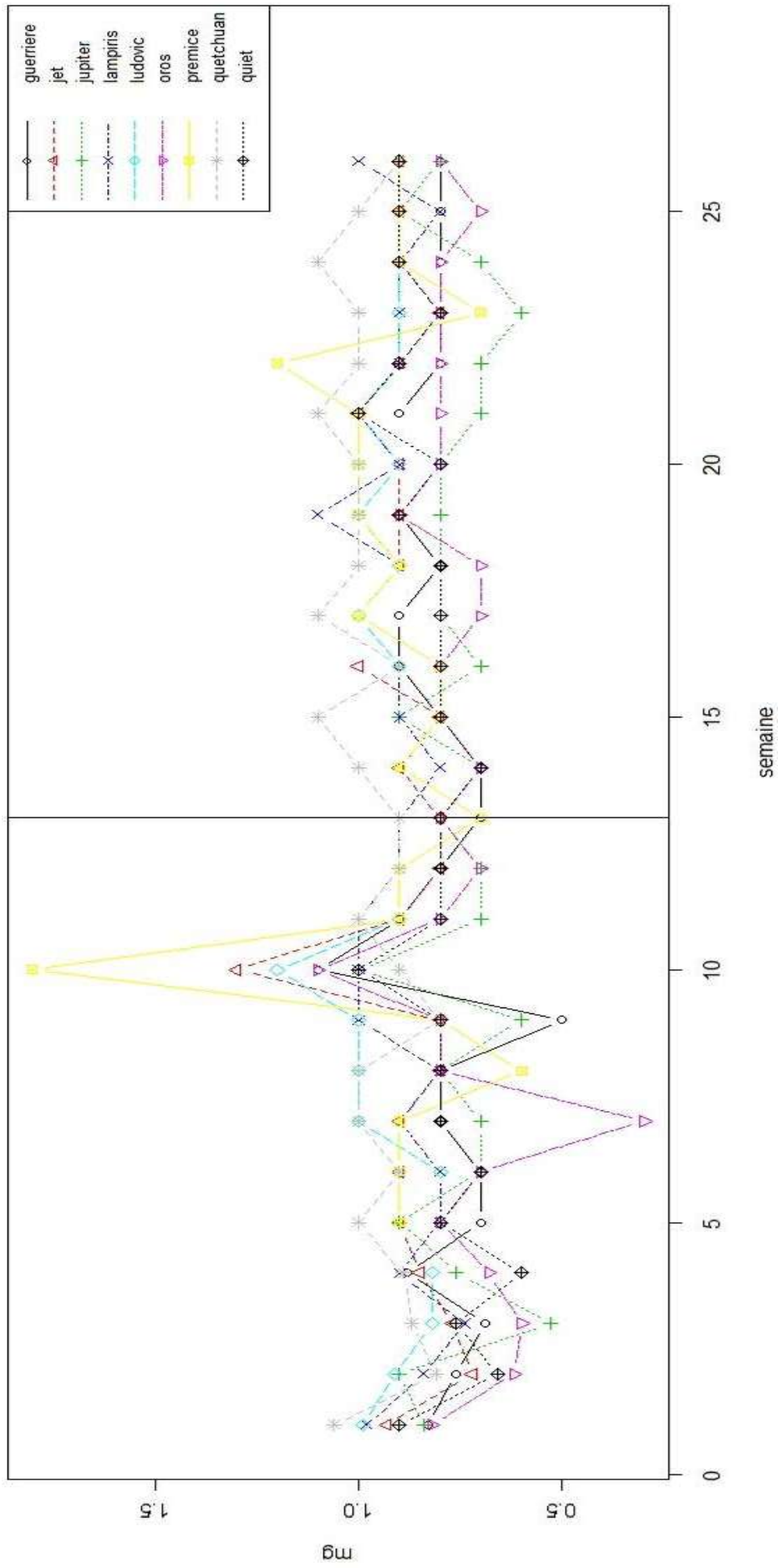


Figure 40 : suivi du magnésium au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

- Chlore

Tableau 30 : valeur moyenne du chlore pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	cl1	cl2
guerrière	105,8	107,1
jet	105,8	107,3
jupiter	104,6	104,0
lampiris	102,2	103,4
ludovic	105,5	106,8
oros	105,7	104,6
prémice	103,3	105,8
quetchuan	104,5	106,2
quietboy	106,4	106,4
Moyenne totale	104,9	105,7

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne du chlore sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.04$). La valeur moyenne a tendance à être supérieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

- Sodium

Tableau 31 : valeur moyenne du sodium pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	na1	na2
guerrière	135,5	136,3
jet	134,5	135,1
jupiter	134,4	135,0
lampiris	134,7	135,8
ludovic	134,0	135,2
oros	133,7	133,8
prémice	136,4	137,3
quetchuan	134,8	136,1
quietboy	134,4	134,2
Moyenne totale	134,7	135,4

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne du sodium sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.02$). La valeur moyenne a tendance à être supérieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

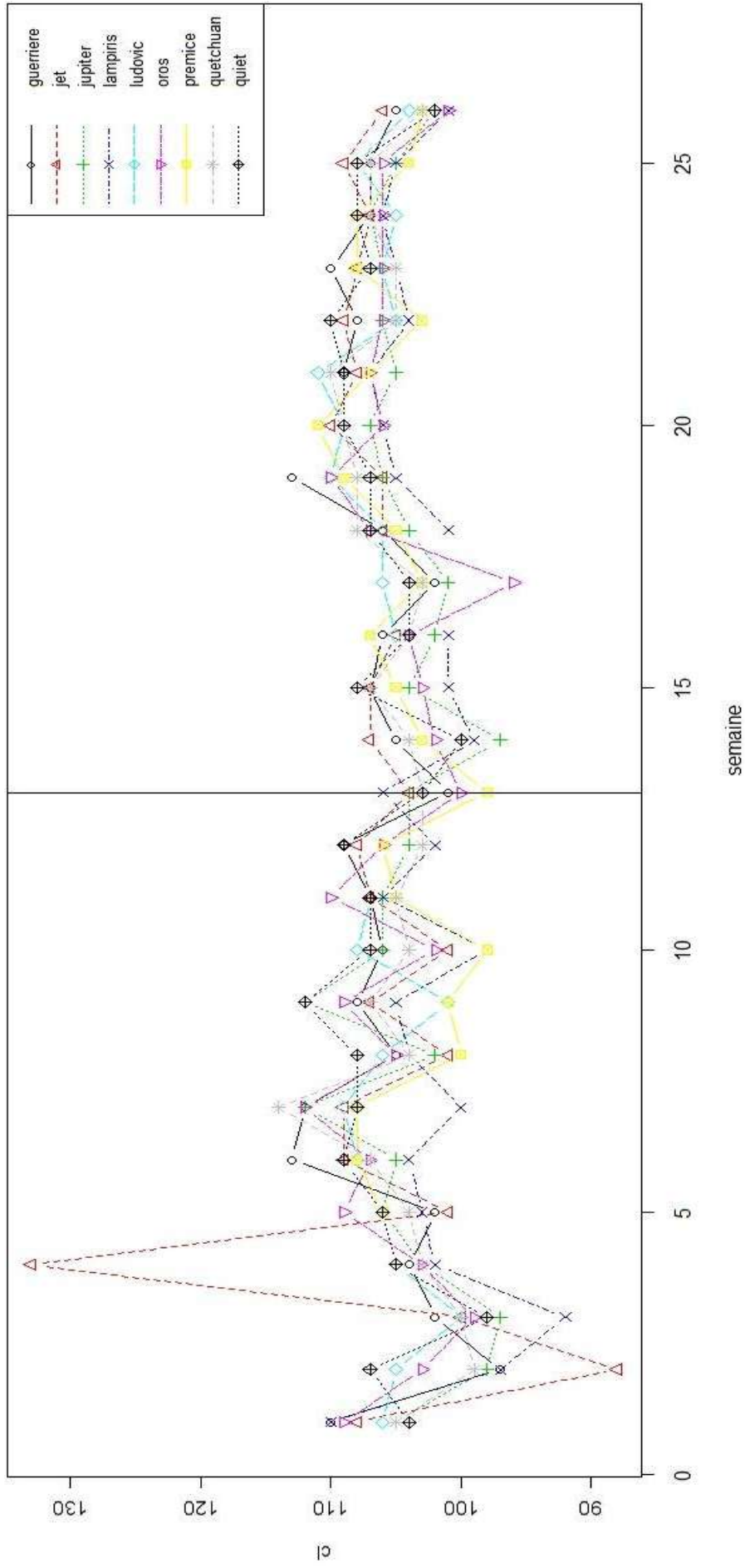


Figure 41 : suivi du chlore au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

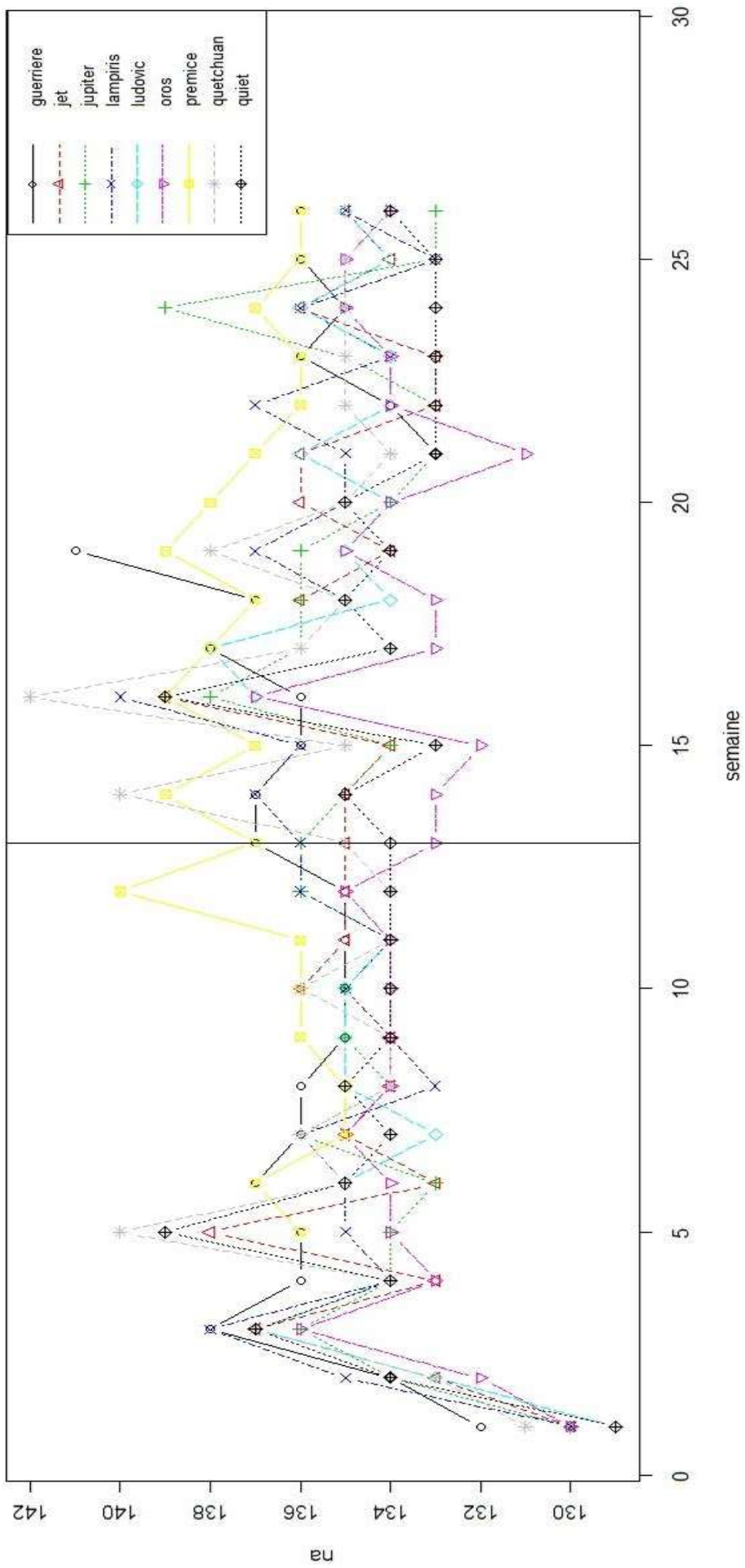


Figure 42 : suivi du sodium au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

- Potassium

Tableau 32 : valeur moyenne du potassium pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	k1	k2
guerrière	4,38	4,30
jet	3,93	3,74
jupiter	4,08	3,75
lampiris	3,71	3,64
ludovic	4,32	3,77
oros	3,68	3,68
prémice	3,58	3,28
quetchuan	4,05	3,39
quietboy	4,96	4,67
Moyenne totale	4,08	3,80

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne du potassium sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.01$). La valeur moyenne a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

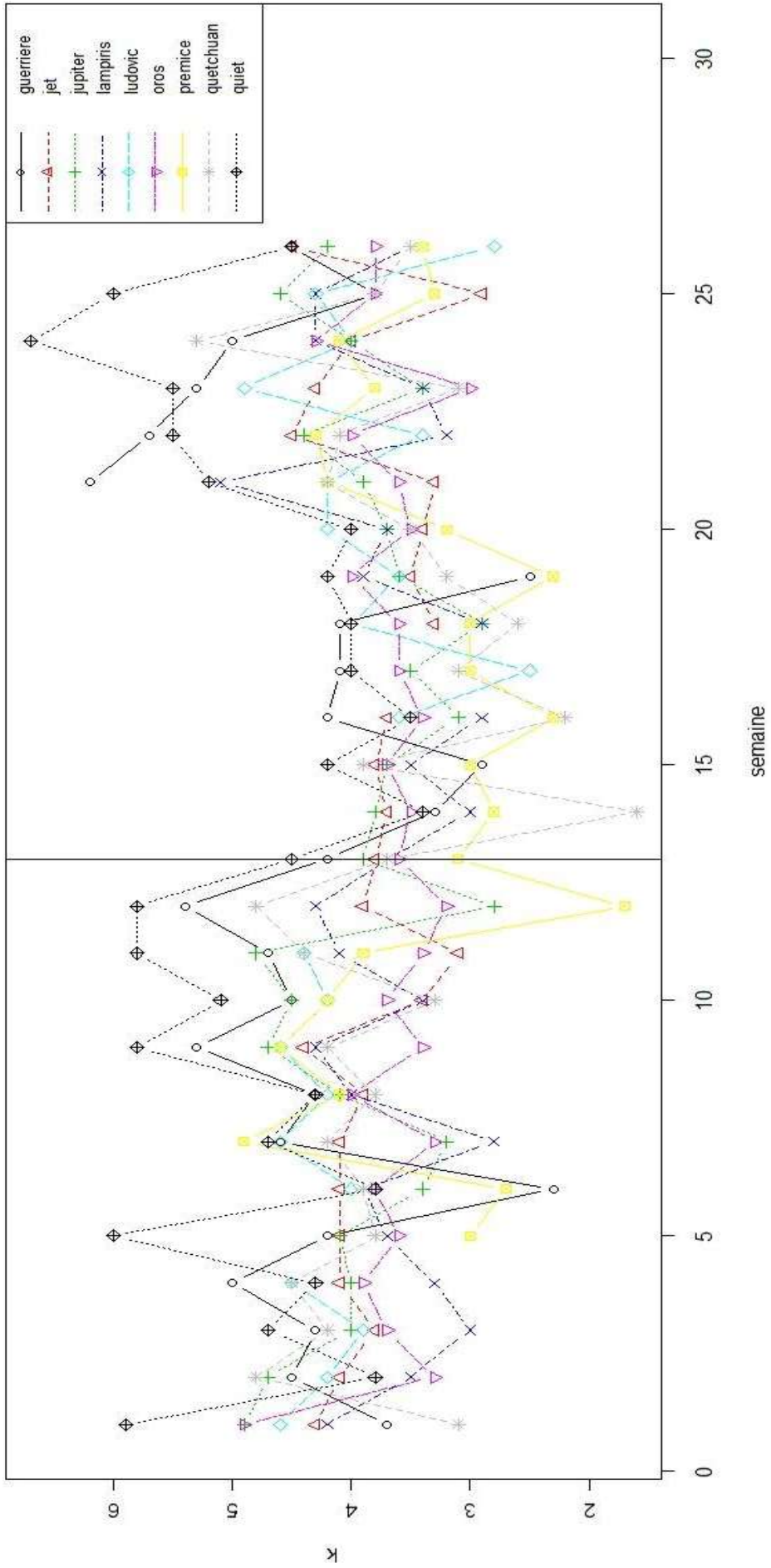


Figure 43 : suivi du potassium au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

II.B.3.b) Les enzymes

Les valeurs obtenues durant l'étude pour les Cpk et les Asat sont comprises dans les valeurs usuelles publiées dans la littérature.

- Asat

Tableau 33 : valeur moyenne des Asat pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	Asat1	Asat2
guerrière	310,4	376,1
jet	382,3	326,8
jupiter	251,4	215,2
lampiris	265,5	254,1
ludovic	396,3	288,7
oros	281,0	266,1
prémice	315,6	320,9
quetchuan	296,4	284,0
quietboy	315,3	284,8
Moyenne totale	312,7	290,7

Il n'existe pas de différence significative mise en évidence entre la valeur moyenne des Asat sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.13$).

- Cpk

Tableau 34 : valeur moyenne de la cpk pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	Cpk1	Cpk2
guerrière	291,1	250,3
jet	384,0	202,1
jupiter	177,8	139,5
lampiris	207,3	147,0
ludovic	303,2	203,9
oros	169,0	154,1
prémice	204,6	212,4
quetchuan	236,0	208,6
quietboy	195,4	195,7
Moyenne totale	240,9	190,4

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne des Cpk sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.02$). La valeur moyenne a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

La représentation graphique est faite après calcul du logarithme de la concentration sanguine en Cpk.

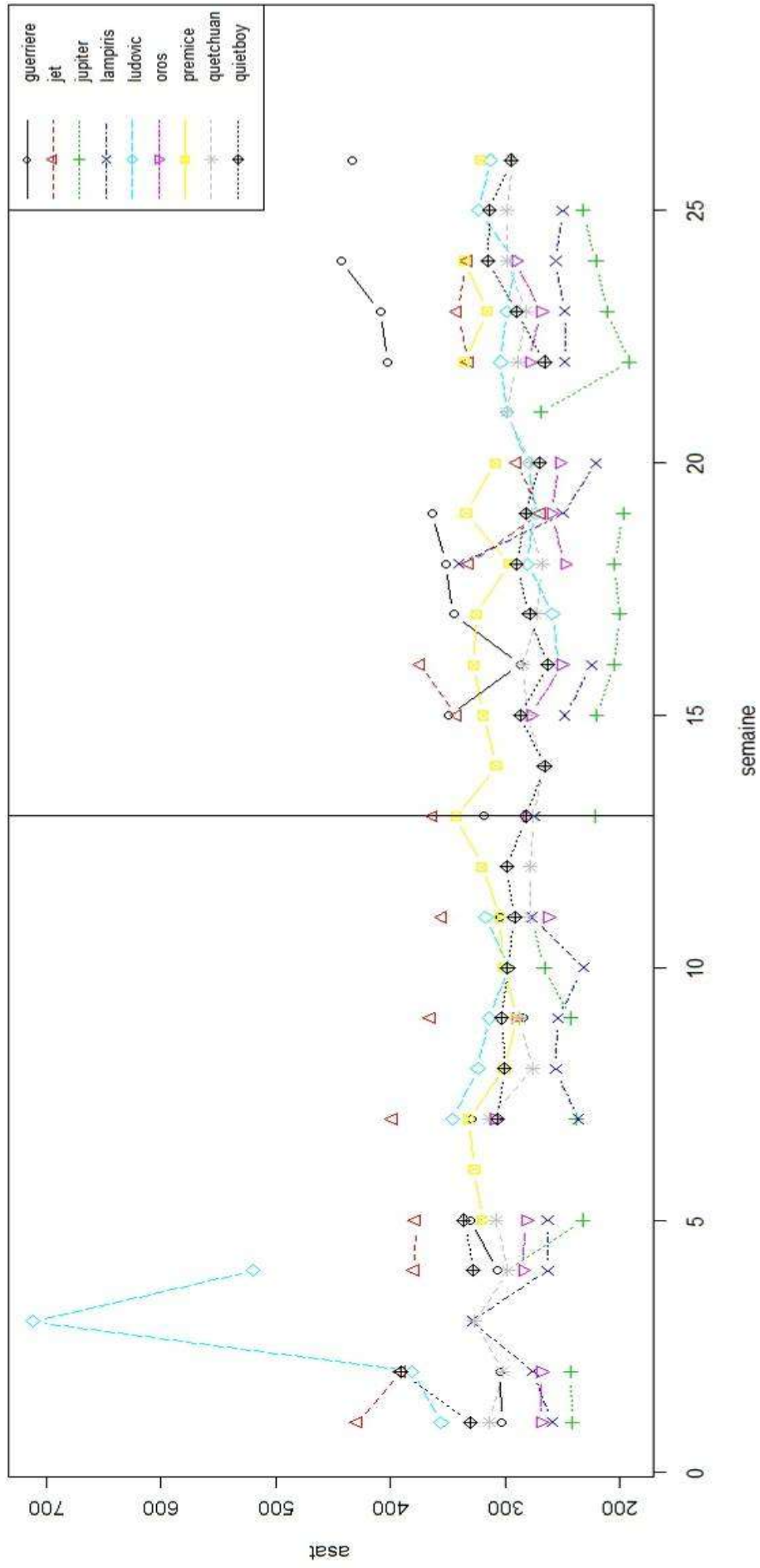


Figure 44 : suivi des Asat au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

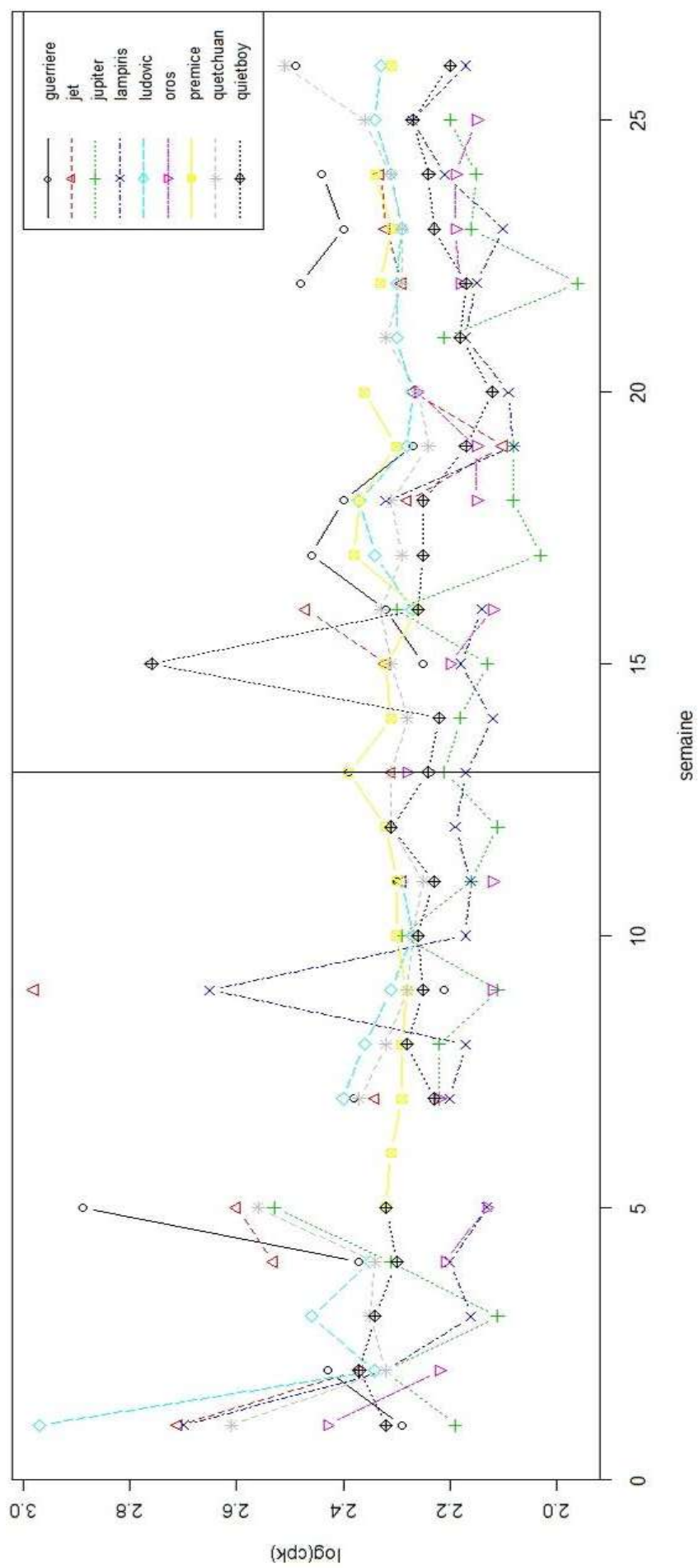


Figure 45 : suivi des cpk au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

- Pal

Tableau 35 : valeur moyenne des Pal pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	Pal1	Pal2
guerrière	303,5	332,4
jet	294,9	318,7
jupiter	265,7	279,6
lampiris	296,7	282,2
ludovic	191,3	157,6
oros	338,4	260,2
prémice	329,0	278,1
quetchuan	242,0	217,8
quietboy	240,4	185,0
Moyenne totale	278,0	256,9

Il n'existe pas de différence significative mise en évidence entre la valeur moyenne des Pal sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.13$).

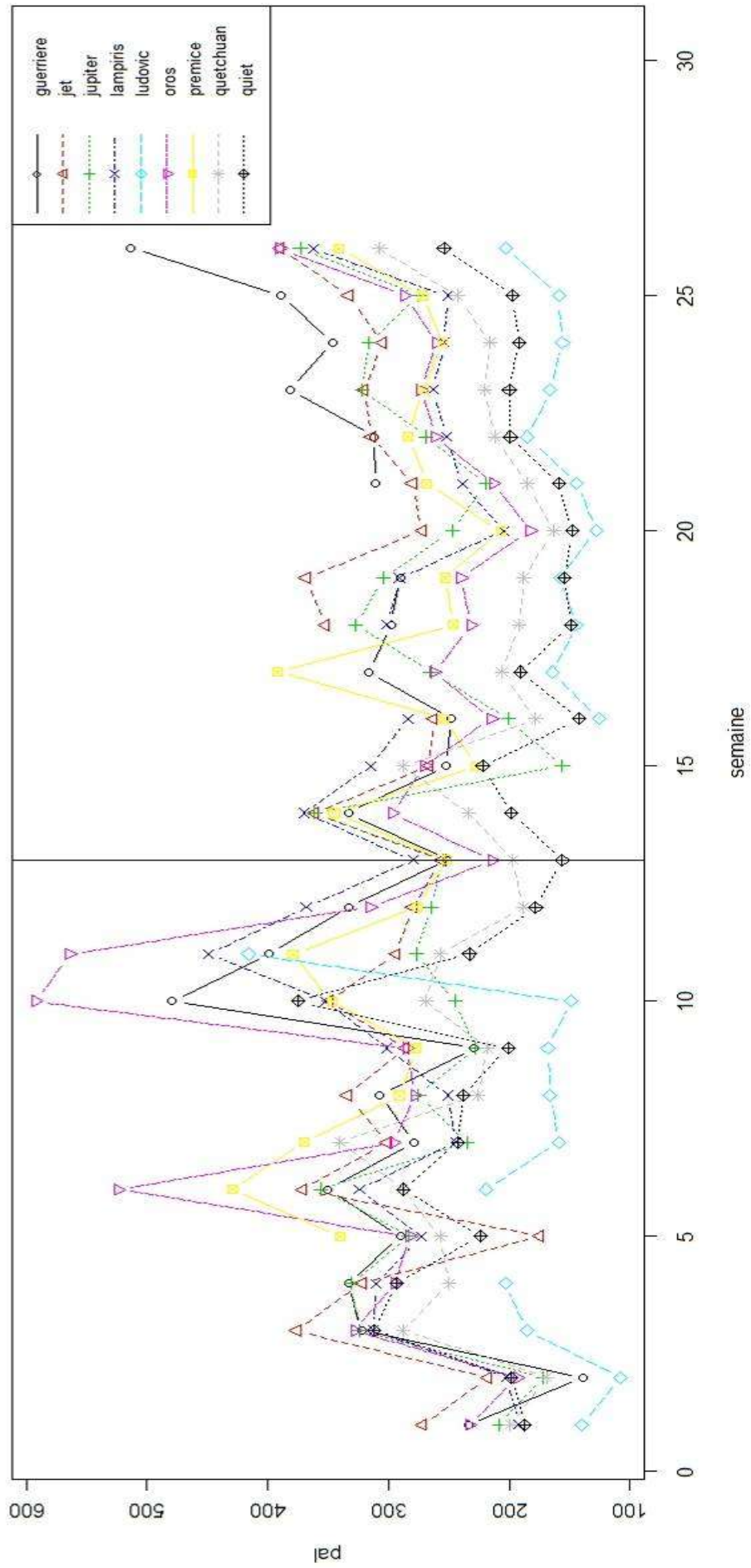


Figure 46 : suivi des Pal au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

II.B.3.c) Les protéines

- Protéines totales

Tableau 36 : valeur moyenne des protéines totales pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	PT1	PT2
guerrière	73,6	71,4
jet	69,8	66,6
jupiter	70,7	67,8
lampiris	65,3	63,2
ludovic	69,7	64,0
oros	68,9	66,7
prémice	73,7	73,2
quetchuan	65,7	63,1
quietboy	65,0	61,3
Moyenne totale	69,2	66,4

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne des protéines totales sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.004$). La valeur moyenne a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

- Albumine

Tableau 37 : valeur moyenne de l'albumine pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	albumine1	albumine2
guerrière	38,5	34,8
jet	35,6	33,9
jupiter	35,4	31,1
lampiris	35,3	33,0
ludovic	38,6	34,3
oros	32,3	29,0
prémice	33,5	32,6
quetchuan	35,6	32,4
quietboy	36,7	32,6
Moyenne totale	35,7	32,6

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne de l'albumine sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.004$). La valeur moyenne a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

Graphiquement, on semble observer une diminution de la concentration en albumine pour tous les chevaux les semaines suivant le changement d'aliment. Puis les valeurs réaugmentent mais semblent inférieures aux valeurs de départ.

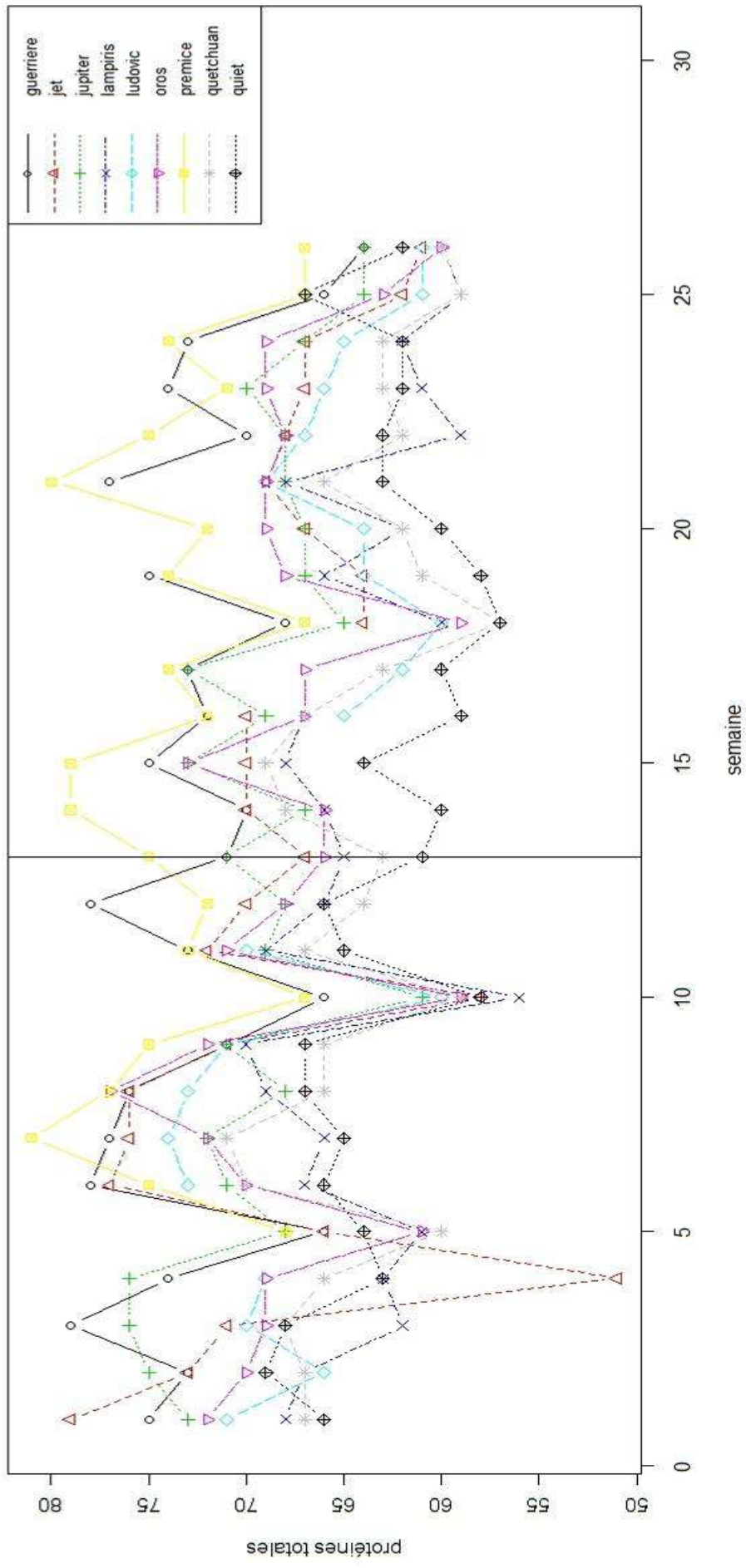


Figure 47 : suivi des protéines totales au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

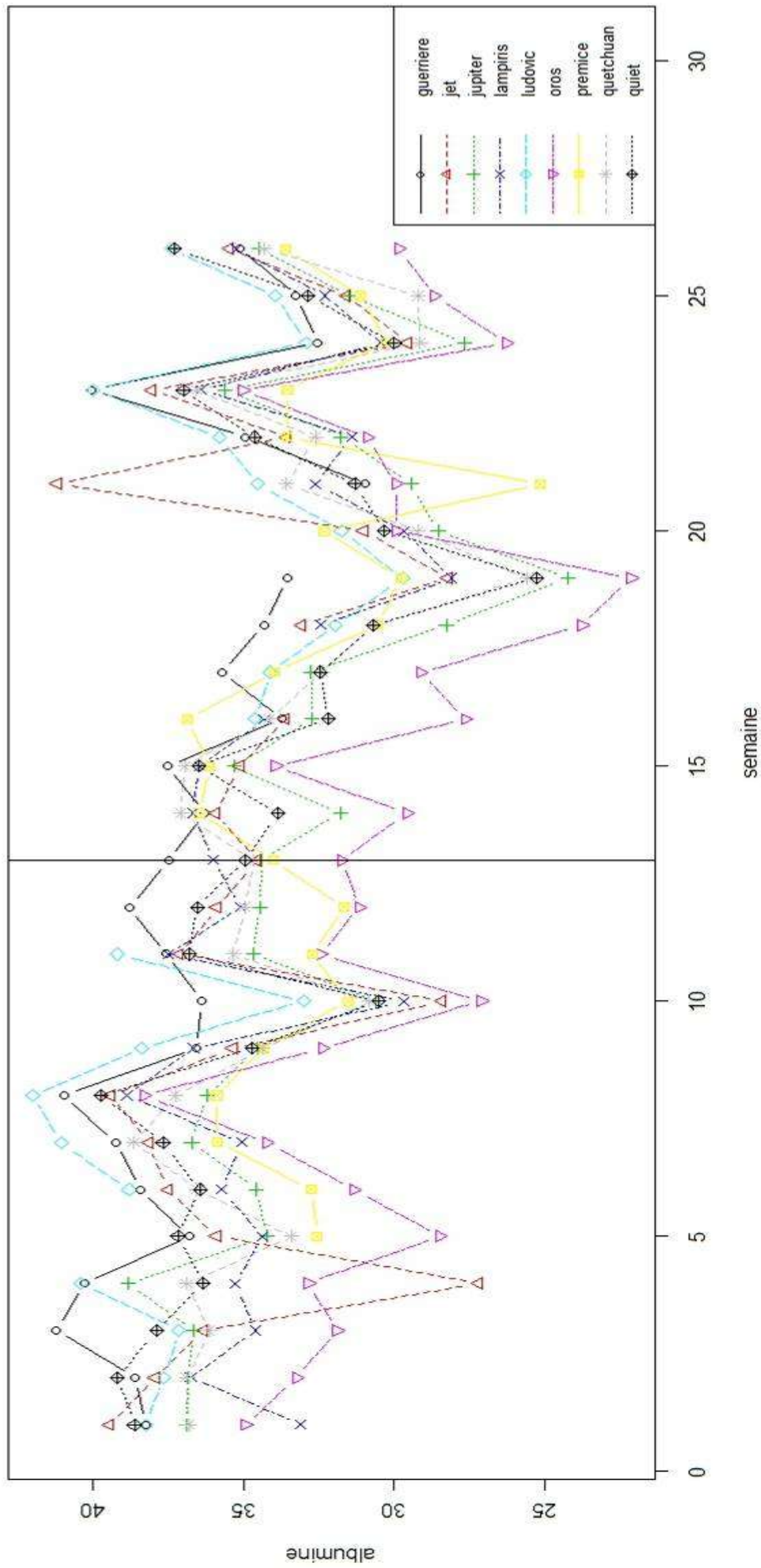


Figure 48 : suivi de l'albumine au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

II.B.3.d)Urée

Tableau 38 : valeur moyenne de l'urée pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	uree1	uree2
guerrière	6,13	5,30
Jet	5,82	5,20
jupiter	4,65	3,95
lampiris	6,43	5,83
ludovic	5,85	5,23
Oros	4,80	4,17
prémice	5,34	5,33
quetchuan	5,10	4,62
quietboy	4,81	3,83
Moyenne totale	5,44	4,83

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne de l'urée sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.004$). La valeur moyenne a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

II.B.3.e)Créatinine

Tableau 39 : valeur moyenne de la créatinine pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	creatinine1	creatinine2
guerrière	122,5	125,2
Jet	147,0	135,2
jupiter	109,6	115,5
lampiris	151,4	159,0
ludovic	142,4	149,5
Oros	115,0	121,5
prémice	139,4	146,2
quetchuan	134,8	138,5
quietboy	118,2	132,8
Moyenne totale	131,1	135,9

Il n'existe pas de différence significative mise en évidence entre la valeur moyenne de la créatinine sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.1$).

La représentation graphique choisit ici est celle du logarithme de la concentration en créatinine en fonction du temps.

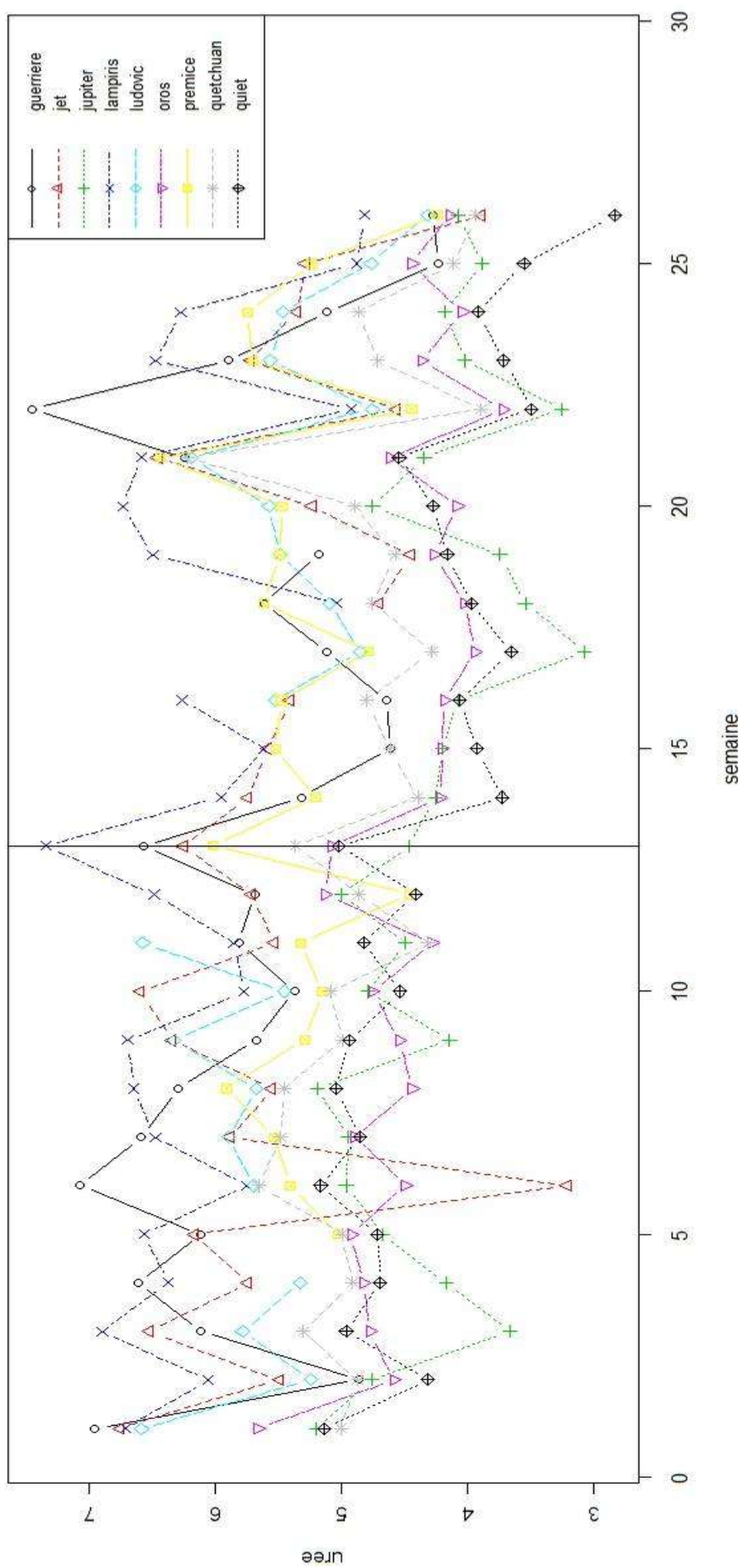


Figure 49 : suivi de l'urée au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

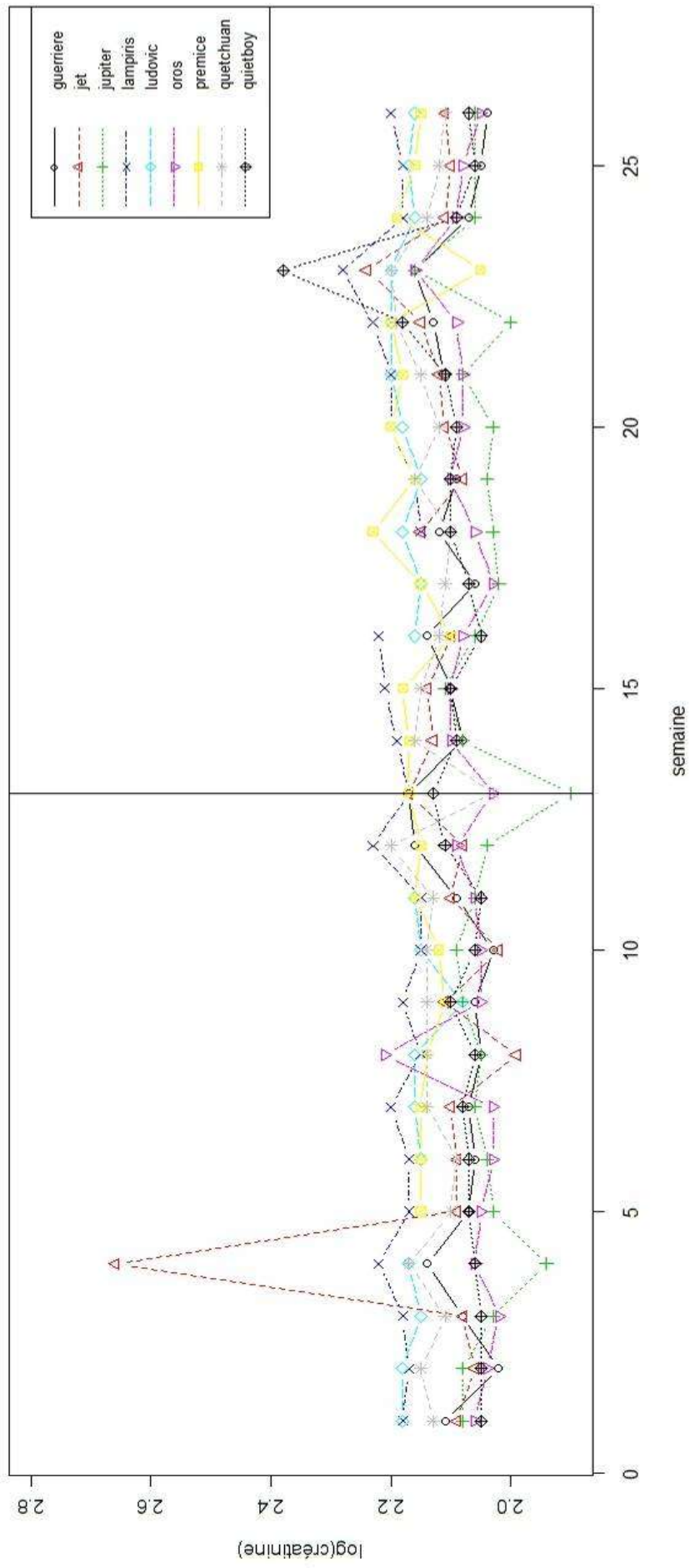


Figure 50 : suivi de la créatinine au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

II.B.3.f)Glucose

Tableau 40 : valeur moyenne du glucose pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	glycemie1	glycemie2
guerrière	0,97	0,91
jet	0,90	0,88
jupiter	0,86	0,93
lampiris	0,89	0,85
ludovic	0,92	0,88
oros	1,02	1,02
prémice	0,91	0,83
quetchuan	0,84	0,83
quietboy	0,91	0,92
Moyenne totale	0,91	0,89

Il n'existe pas de différence significative mise en évidence entre la valeur moyenne du glucose sanguin sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.2$).

II.B.3.g)Cholestérol

Tableau 41 : valeur moyenne du cholestérol pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	cholesterol1	cholesterol2
guerrière	2,13	2,43
Jet	2,50	2,58
jupiter	1,94	2,14
lampiris	2,17	2,22
ludovic	2,22	2,26
oros	2,27	2,52
prémice	2,33	2,58
quetchuan	2,78	2,95
quietboy	2,39	2,51
Moyenne totale	2,30	2,47

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne du cholestérol sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.009$). La valeur moyenne a tendance à être supérieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

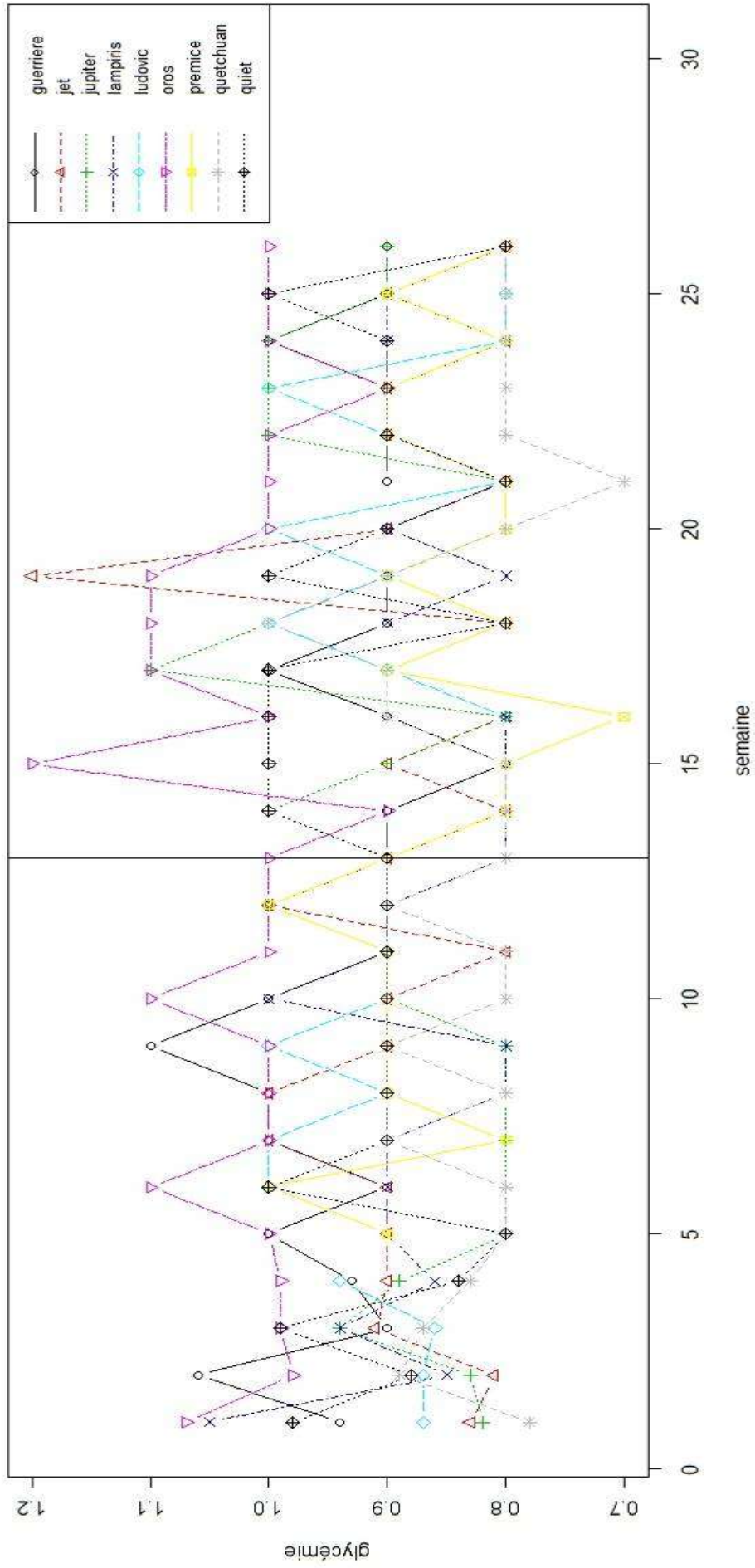


Figure 51 : suivi du glucose au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

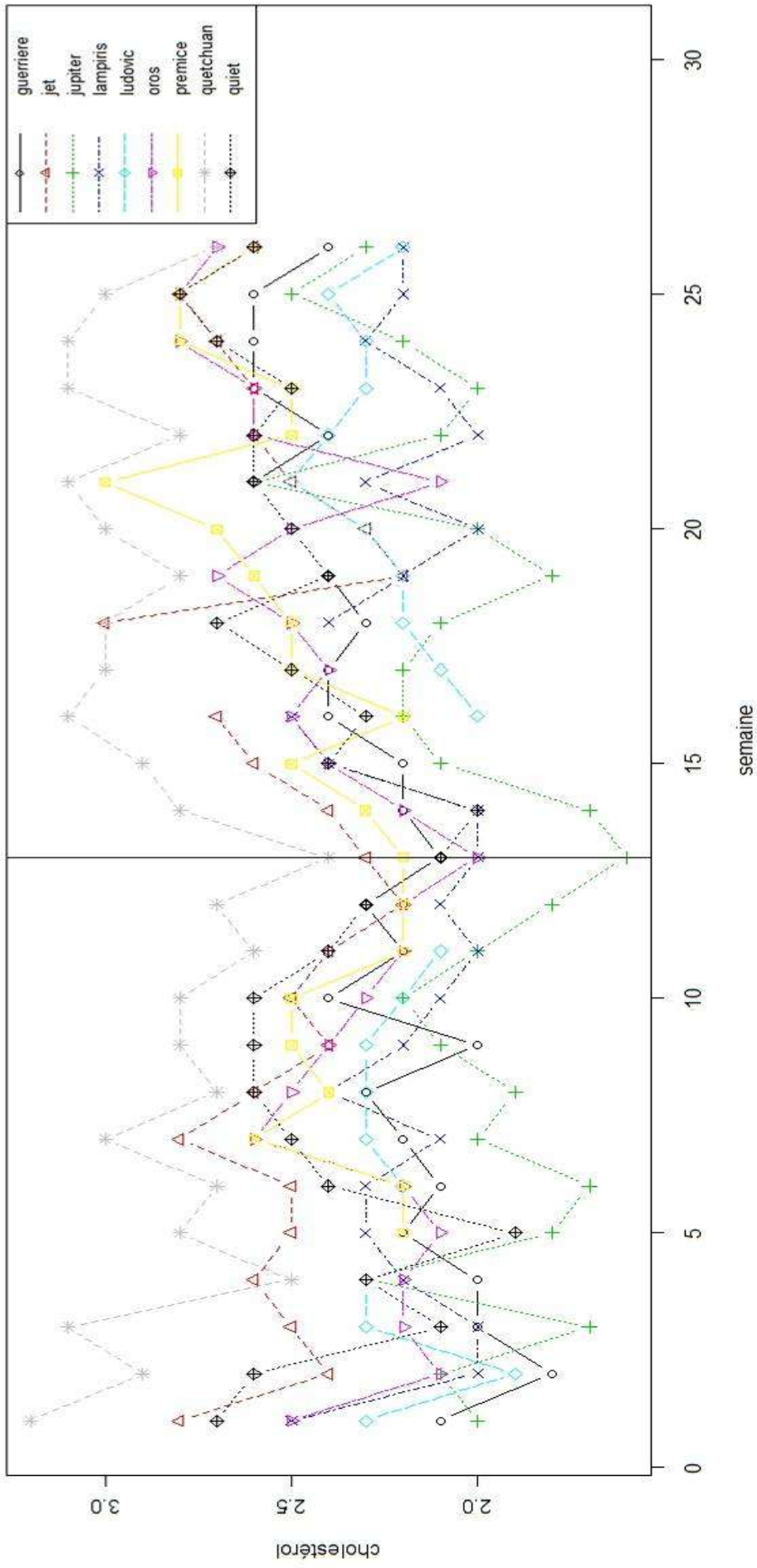


Figure 52 : suivi du cholestérol au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

II.B.3.h)Triglycérides

Tableau 42 : valeur moyenne des triglycérides pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval.

cheval	TG1	TG2
guerrière	0,38	0,40
jet	0,44	0,38
jupiter	0,32	0,28
lampiris	0,34	0,28
ludovic	0,34	0,36
oros	0,31	0,19
prémice	0,34	0,34
quetchuan	0,59	0,49
quietboy	0,41	0,35
Moyenne totale	0,39	0,34

Il existe une différence significative entre la valeur moyenne des triglycérides sanguins sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.04$). La valeur moyenne a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

II.B.3.i)Acide bêta-hydroxybutyrate (β oh)

Le domaine de mesure de l'HITACHI 717 étant compris entre 0.2 et 0.6 mmol/L, il est impossible de calculer une valeur moyenne pour les deux aliments puisque la plupart des valeurs obtenues est inférieure à 0.2 mmol/L. La valeur la plus élevée mesurée sur toute la période des prélèvements est de 0.3 mmol/L. L'analyse statistique porte sur le nombre de valeurs observées supérieures ou égales à 0.2 mmol/L selon l'aliment. Un test non paramétrique de Wilcoxon des rangs signés est appliqué.

Tableau 43 : Nombre de valeurs observées supérieures ou égales à 0.2 mmol/L pour l'acide bêta-hydroxybutyrate pour le Master compétition (1) et le Master king (2).

cheval	βoh1	βoh2
guerrière	8	0
jet	5	0
jupiter	1	0
lampiris	3	0
ludovic	0	0
oros	0	0
prémice	4	0
quetchuan	8	8
quietboy	7	2
Moyenne totale	4	1

Il existe une différence significative entre le nombre de valeurs observées supérieures ou égales à 0.2 mmol/L sous Master compétition et sous Master king ($p = 0.04$). Le nombre de

valeurs supérieures ou égales à 0.2 mmol/L a tendance à être inférieure pour le Master king par rapport au Master compétition.

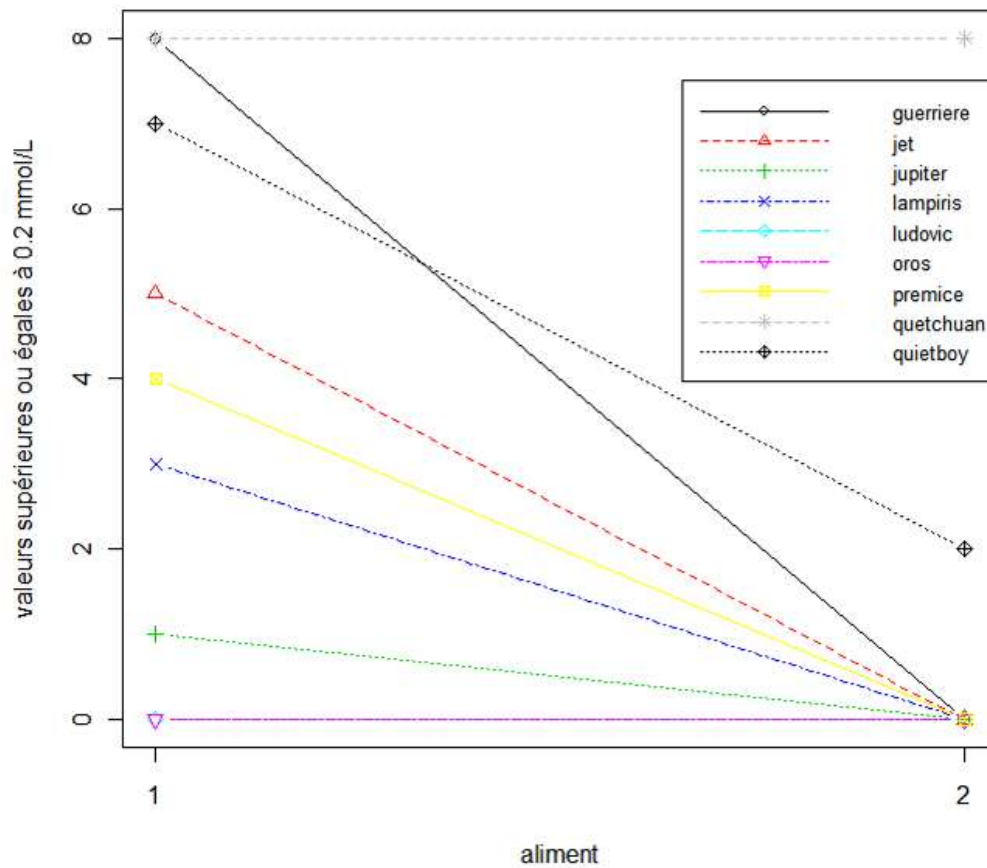


Figure 53 : Nombre de valeurs observées supérieures ou égales à 0.2 mmol/L pour le Master compétition (1) et le Master king (2) pour chaque cheval

II.B.3.j)CO₂ total

Les contraintes analytiques pour ce paramètre ne pouvant être respectées (délai entre prélèvement et analyse) nous n'avons pas réalisé d'analyses statistiques sur les valeurs obtenues. Les données brutes sont tout de même exposées en annexe.

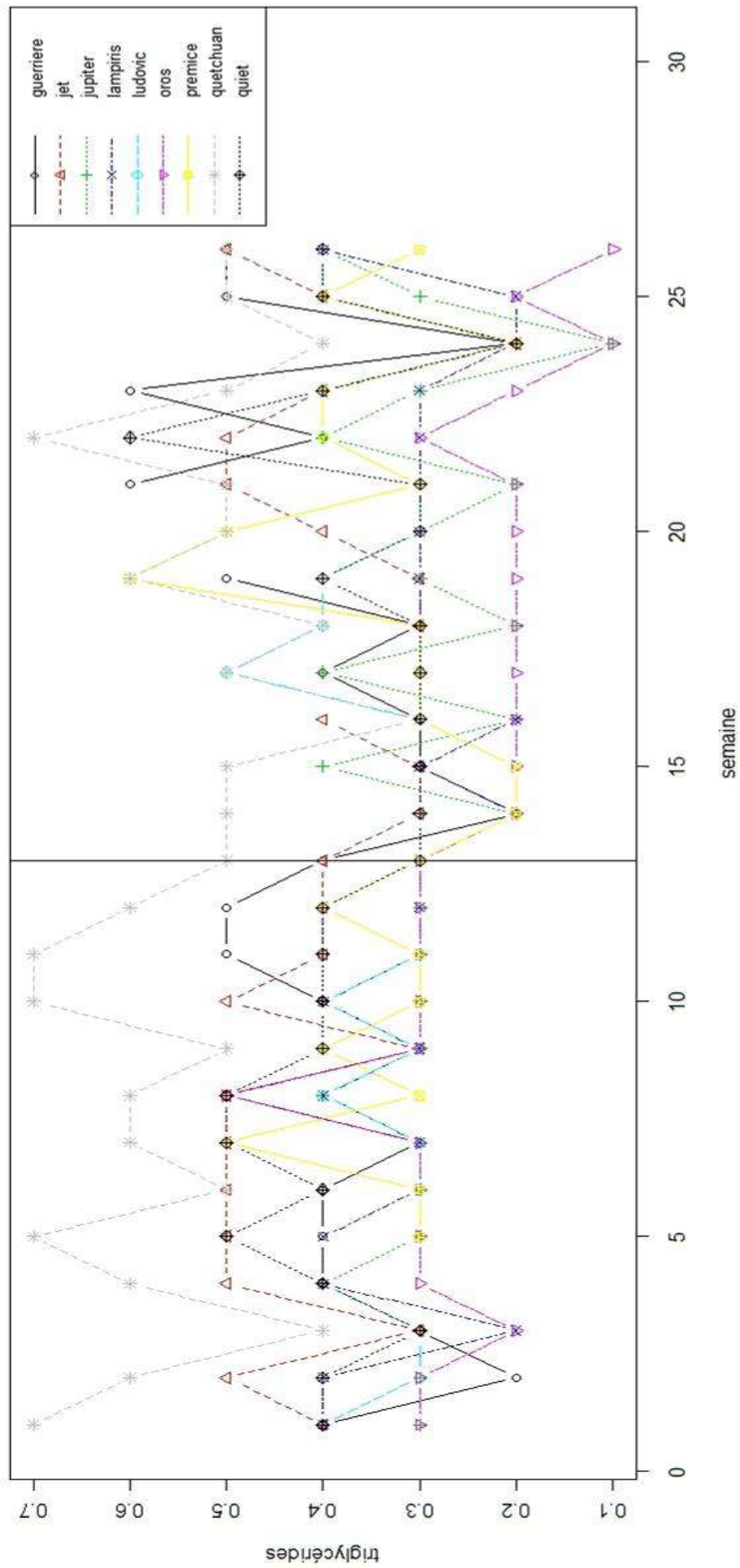


Figure 54 : suivi des triglycérides au cours des deux périodes d'alimentation pour chaque cheval.

II.C.Discussion

II.C.1.Discussion critique du protocole expérimental

II.C.1.a)Nombre d'animaux

Neuf chevaux ont pris part à cette étude ce qui constitue un effectif faible, même si l'organisation d'une telle étude de terrain représente un travail considérable. Un échantillon plus grand aurait donné plus de puissance aux tests.

D'autre part, les chevaux étudiés ont concouru en niveau amateur et non professionnel. L'entraînement et les concours représentent des efforts importants mais moindre que pour des animaux participant à des épreuves pro et internationales. Une étude portant sur un groupe de chevaux homogènes de haut niveau pourrait utilement enrichir les données fournies par notre étude qu'il faut considérer comme préliminaire.

Enfin, nous avons choisi d'inclure Prémice dans l'étude en sachant l'étude en sachant qu'il rejoignait l'étude après que quatre prélèvements aient déjà été effectués. En effet, les analyses statistiques s'effectuant sur des valeurs moyennes, nous avons jugé acceptable d'avoir quatre valeurs de moins pour Prémice sur le Master compétition.

II.C.1.b)Suivi

Le fait que l'étude se soit déroulée dans une même écurie permet d'éviter certains biais. En effet, le suivi est effectué par une seule et même personne que ce soit pour les estimations de poids vif et de note d'état, l'évaluation de la consommation de pierre à sel, la consistance des crottins, les changements de comportement...

L'excellente compliance des cavaliers/propriétaires a permis un très bon suivi en termes de travail quotidien, sortie en compétition, baisse de forme, maladies ou boiteries...

II.C.1.c)Prélèvements et analyses

Les prélèvements ont été effectués avec le même matériel et selon une même méthode pour tous les chevaux, dans les conditions les plus optimales. La localisation géographique a cependant imposé un certain délai entre les prélèvements et les analyses soit un maximum de 24 heures.

Un seul laboratoire certifié a effectué les analyses selon des méthodes reproductibles. Ceci permet d'éviter les biais d'analyses : les paramètres ont été mesurés sur les mêmes appareils tout au long de l'étude.

II.C.1.d)Choix des aliments et rationnement alimentaire

L'objectif était d'observer les profils sanguins établis sur nos 9 chevaux et de déterminer s'il existait une variation selon le type de concentrés donné. Le choix des deux aliments devait permettre d'une part de **répondre aux besoins des chevaux** et d'autre part de présenter des **différences intrinsèques** susceptibles de provoquer des modifications biochimiques. Le choix s'est donc porté sur le Master compétition et le Master king qui sont deux aliments produits par un même fournisseur et répondant à nos deux critères majeurs de sélection. Les différences notoires entre ces deux concentrés sont la teneur en matières grasses (et la qualité des acides gras) et le rapport MADC/UFC.

Les rations ont été déterminées en fonction de l'âge des chevaux, du travail fourni, de leur poids estimés et de leur poids/note d'état souhaité(e). Ainsi, certaines rations ont dû être modifiées en cours d'étude pour ajuster les apports en fonction des besoins. Ceci peut biaiser les analyses par rapport aux chevaux qui n'ont pas vu leur ration modifiée.

Après détermination des apports fournis par la ration déjà établie, on s'aperçoit que le rapport protéines-énergie est proche de 80 g pour le Master compétition et de 70 g pour le Master king en prenant en compte les apports fournis par le foin. Les besoins théoriques donnent des valeurs autour de 70 g à l'entretien et au travail. On est donc légèrement supérieure aux valeurs théoriques avec le Master compétition. De plus, si on ne regarde que les apports protéines-énergie relatifs aux seuls concentrés, on remarque que ceux-ci sont encore plus élevés (100 g pour le Master compétition et 84 g pour le Master king). Aussi, si notre foin avait été de meilleure qualité sur les apports protéiques, le rapport MADC/UFC total aurait été bien plus important. Ceci souligne l'excès de protéines apportées, de manière général, par les aliments industriels, si l'on se base sur les critères de l'INRA. Dans notre cas, l'apport semble plus optimal avec le Master king.

Certains chevaux semblent recevoir trop d'énergie en comparaison des besoins estimés et d'autres moins. Néanmoins, ces chevaux n'ont présentés ni perte ni prise de poids respectivement pour un apport trop faible ou trop important d'énergie. On est donc amené tout naturellement à remettre en question les calculs de besoins théoriques estimés selon les recommandations de l'INRA pour des chevaux de CCE au travail, selon notre appréciation du travail.

L'apport en cellulose brute est toujours supérieur aux besoins estimés et ceci en grande partie par l'apport de foin.

Les apports en minéraux sont plus délicats à interpréter étant donné que seuls les valeurs pour le calcium et le phosphore sont données pour le foin. On constate que le rapport Ca/P est proche de 2.3 pour les deux concentrés associés au foin distribué. Ce rapport est légèrement supérieur à la valeur optimale recherchée de 1.8 mais il reste tout fait satisfaisant compte tenu du mauvais rapport de 4.18 du foin. Par ailleurs, les apports en calcium semblent bien respectés tandis que ceux en phosphore sont en dessous des besoins estimés. Les besoins en magnésium sont satisfaits. On peut supposer que les besoins en sodium, chlore et potassium sont également couverts puisque les chevaux disposent d'une pierre à sel et que le foin renferme en général beaucoup de potassium même si nous ne connaissons pas la valeur de notre foin.

Comparativement, le Master compétition et le Master king renferme sensiblement la même quantité de calcium et de phosphore par kg de MS. Les quantités en chlore, sodium et potassium sont moins importantes pour le Master king par kg de MS. Les quantités de magnésium sont quant à elle plus importantes pour le Master king par kg de MS.

Le changement d'aliment s'est effectué dans le même sens pour tous les chevaux pour des raisons techniques (Master compétition puis Master king). Il aurait été intéressant de pouvoir faire deux groupes : un recevant le Master compétition en premier et l'autre le Master king en premier, puis d'alterner, permettant ainsi principalement d'éviter un biais expérimental lié au niveau d'entraînement et de fatigue au fil de la saison.

La consommation de paille n'a pas été prise en compte volontairement. Pourtant, pour être exact sur les apports alimentaires, il aurait fallu déterminer la quantité ingérée ainsi que la valeur nutritive de la paille fournie. Ceci étant difficilement réalisable, nous avons considéré que l'ingestion était faible et accepté ce biais.

II.C.1.e) Choix des paramètres

Le choix des paramètres doit permettre d'obtenir un bilan général sur nos chevaux. Nous souhaitons vérifier l'intégrité de l'appareil musculo-squelettique, des fonctions rénales et hépatiques, l'apport alimentaire et le renouvellement des pertes électrolytiques. Les paramètres sanguins suivis permettent de répondre à ces critères.

Nous aurions pu également doser le phosphore mais les apports alimentaires sont ici satisfaisants et quasi-identiques avec un rapport phosphocalcique acceptable. Le dosage du phosphore permettrait d'explorer d'éventuels troubles du métabolisme (hormonal, osseux...) et serait corrélé au dosage de la calcémie. Nous avons donc jugé qu'il n'était indispensable de faire ce dosage.

Le dosage des acides β -OH a été réalisé pour obtenir des valeurs sur des chevaux de sport au travail compte tenu de la différence majeure entre les deux concentrés du taux d'acides gras. En effet, la cétogenèse peut être liée à une saturation du cycle de Krebs si la bêta-oxydation des acides gras est trop importante (production accrue d'acétylcoA). Or le Master king présente un taux de matière grasse presque 4 fois plus important que le Master compétition. Aussi, nous nous sommes posés la question de savoir si cet apport massif de matières grasses pouvait avoir un impact sur la cétogenèse d'où le choix du dosage des β -OH réalisable par le laboratoire. Néanmoins, peu de données sont disponibles sur ce paramètre pour les chevaux (contrairement aux bovins) ce qui rend délicat l'interprétation de nos résultats.

Le dosage du taux de CO_2 total devait nous permettre d'avoir une valeur approximative des bicarbonates. Or il aurait fallu faire les analyses plus rapidement après les prélèvements et déterminer aussi le pH et la pCO_2 pour qu'une variation soit interprétable (compensatoire physiologique ou pathologique). Aussi, nous avons exclu ce paramètre des analyses statistiques.

En plus du dosage de la glycémie, des triglycérides et du cholestérol, il aurait été judicieux et intéressant de doser l'insuline. Néanmoins, l'aspect financier et également initialement des aspects techniques ont rendu impossible cette analyse.

II.C.1.f) Durée

La durée a été fixée arbitrairement à une période de trois mois pour chaque aliment ce qui a permis de réaliser 26 prélèvements en tout et de calculer une valeur moyenne pour chaque paramètre sur les deux périodes. Ce nombre de prélèvements est satisfaisant pour pouvoir faire des analyses sur des valeurs moyennes d'autant plus que certaines valeurs brutes sont exclues soit par le protocole expérimental (Cpk et Asat à 2 et 5 jours post compétition, hémolyse...) soit pour d'autres raisons (maladie, boiterie...).

La durée est également suffisamment longue pour permettre à l'organisme de s'adapter au deuxième concentré distribué (notamment pour le métabolisme des acides gras).

II.C.2. Analyse critique des résultats

II.C.2.a) Evaluation des effets de l'alimentation sur le plan qualitatif

Bien que l'objectif de cette étude était d'établir les profils sanguins de nos 9 chevaux soumis à deux types de concentrés différents, d'autres observations ont été rapportées d'un point de vue qualitatif telles que la consommation des pierres à sel, la pousse de la corne, l'aspect du poil...

Certains chevaux ont montré une consommation plus importante de leur bloc à lécher au cours de la période sous Master king. Ceci pourrait être expliqué par le fait que le Master king renferme moins de NaCl que le Master compétition et que les quantités distribuées étaient moindres (même litrage avec densité moindre pour le Master king : quantité en kg moindre).

Oros et Quietboy, qui recevaient des rations de concentrés importantes, ont présenté des crottins mieux moulés et moins odorants sous Master king. Il est possible que ces chevaux aient une légère hyperfermentation au niveau du gros intestin sous Master compétition (MADC/UFC plus élevé, concentration en amidon plus élevée) qui s'est régulée sous Master king.

La corne des sabots semble avoir poussé de façon plus importante sous Master king. La concentration en biotine est quasiment identique pour les deux concentrés. Celle en lysine est légèrement plus élevée pour le Master king (5.47 g/kg brut contre 5.24 g/kg brut). D'autres éléments (acides gras dont oméga 3 et 6, vitamines, minéraux...) doivent certainement intervenir dans cette modification autre que la biotine ou la lysine. Une étude plus spécifique pourrait être envisagée par la suite pour évaluer l'impact du Master king sur une éventuelle pousse de corne plus importante.

Le poil plus brillant peut résulter d'un apport en acides gras plus abondant et surtout en oméga 3 et 6.

La sueur de Quetchuan et Quietboy était moins abondante et d'aspect moins mousseux sous Master king. L'apport de protéines étant moindres, on peut émettre l'hypothèse d'une moins grande concentration en lathérine et/ou en urée dans la sueur. De plus, le métabolisme des acides gras libère moins de chaleur que celui des glucides. Aussi, la thermorégulation est peut être moins importante sous Master king si la production de chaleur est plus faible pour une même dépense énergétique. Ce résultat reste délicat à interpréter puisqu'il s'agit des deux chevaux de 4 ans entiers. Aussi, l'âge (associé à l'entraînement) et le sexe peuvent aussi influencer ces observations. Si la production de sueur est moins abondante sous Master king, cela peut constituer un avantage : les pertes hydro-électrolytiques sont plus faibles.

Les chevaux au tempérament « chaud » paraissent plus calmes sous Master king. Cependant, cet aliment a été distribué à partir de juin jusqu'en septembre donc pendant la saison estivale. Or les chevaux sont plus facilement « chauds » lorsque l'environnement extérieur est frais. La saison est donc un facteur non négligeable sur le tempérament des chevaux. Une étude plus spécifique pourrait être menée sur différentes périodes de l'année pour observer le réel impact du Master king sur le tempérament.

II.C.2.b) Evaluation des effets de l'alimentation sur les paramètres quantitatifs

II.C.2.b)(1) Poids vif

Le poids corporel estimé conjointement à l'observation de la note d'état avait pour but principal de veiller à ce que les chevaux conservent un poids adéquat durant l'expérimentation.

Pour certains chevaux, les variations notées sont en relation avec un problème de santé sans changement de ration. Oros a perdu visiblement et aussi quantitativement du poids lorsqu'il a présenté une baisse de forme de fin avril à début juin. Jet a été mis au repos suite à un incident de transport ayant occasionné des plaies et a lui aussi perdu du poids. On a également observé une diminution du poids corporel pour Ludovic lors de sa période de repos pour boiterie. Ces observations nous laissent envisager que des épisodes de douleurs (boiterie,

plaie...) ou des désordres asymptomatiques (troubles digestifs, hépatiques, rénaux et autres) peuvent être corrélés à une perte de poids. Celle-ci peut passer inaperçu visuellement (ce qui n'était pas le cas de ces 3 chevaux) lorsqu'elle est faible ce qui renforce l'importance du suivi du poids corporel par mesure (et estimation) ou pesée.

La prise de poids de Prémice peut s'expliquer par l'augmentation de sa charge de travail et de ses rations alimentaires.

Pour les autres chevaux, les variations pondérales sont faibles et non associées à des changements de note d'état. Ces valeurs restant des mesures approximatives, l'effet du type d'aliment et du changement serait mieux objectivé par des méthodes de pesée.

II.C.2.b)(2) Apports alimentaires

Les quantités brutes distribuées sont plus faibles pour le Master king (densité plus basse). Pourtant, les besoins en énergie, protéines et fibres semblent respectés en regard des tableaux bilans besoins/apports établis précédemment et selon le suivi de la note d'état. Une distribution d'aliments industriels moins lourds et satisfaisants les besoins estimés est tout à fait intéressante sur plusieurs plans : physiologique (diminution du risque de surcharge de l'estomac et aussi d'ulcères), technique (quantité stockée), financier (aliment plus cher mais quantités distribuées moindres).

II.C.2.b)(3) Paramètres sanguins

Tous les chevaux ont présenté des valeurs proches des données usuelles, les quelques variations anormales restant ponctuelles et temporaires.

➤ *Electrolytes*

On observe une différence significative pour tous les électrolytes entre les deux aliments.

Pour le calcium, le magnésium et le potassium, les variations entre les deux aliments sur les concentrations sanguines moyennes obtenues semblent être corrélées aux modifications des quantités apportées. En effet, l'apport alimentaire en calcium et potassium est inférieur pour le Master king et les valeurs sanguines le sont également. Pour le magnésium, on constate l'inverse : les apports sont plus élevés avec le Master king et les valeurs sanguines le sont aussi.

Pour le sodium et le chlore, on s'aperçoit que les apports sont plus faibles pour le Master king tandis que les concentrations sanguines moyennes ont tendance à être plus élevées. Cette variation doit être interprétée en prenant en compte le fait que les chevaux disposaient tous d'une pierre à sel qui est une source (semi-quantifiable) d'apport en NaCl. Cependant, une interprétation de ces modifications reste difficilement réalisable compte tenu du fait que nous n'avons pas évalué les pertes quelles soient urinaires ou sudorales. Des prélèvements d'urine avec détermination des fractions urinaires pour ces électrolytes accompagnée d'une évaluation précise des quantités perdues dans la sueur sont indispensables pour pouvoir comprendre s'il y a eu une mise en place d'un mécanisme régulateur. Il serait donc très intéressant que d'autres travaux soient entrepris dans cette voie.

On remarque que les valeurs pour le potassium sont parfois anormalement élevées (>0.5 mmol/L) : il est tout à fait envisageable qu'une hémolyse in vitro ou une fuite de potassium érythrocytaire ait pu avoir lieu dans ce cas là, faussant ainsi les résultats.

➤ *Enzymes*

Il n'existe pas de différence significative pour les PAL sanguines quelque soit l'aliment distribué. Toutefois, on constate que certains chevaux ont présenté des valeurs élevées sur quelques prélèvements. Ainsi, Oros a montré 3 fois des valeurs supérieures à 500 U/L. On remarque que ces données extrêmes ont été obtenues lors de son épisode de perte d'état corporel et de baisse de forme. Pour les autres chevaux, les valeurs élevées ne sont ni en rapport avec une modification de l'état corporel ni avec une baisse de forme. Une interprétation claire de ces modifications est difficile à ce stade. Une répétition de prélèvements et d'analyses lors des périodes où les valeurs sont anormalement élevées auraient apporté des informations supplémentaires et permettraient peut être une meilleure interprétation.

On n'observe pas de différence significative pour les ASAT sanguines entre les deux aliments. Seul Ludovic a présenté quelques valeurs supérieures à 500 U/L en début d'étude, certainement secondairement à un très léger épisode de myosite passé inaperçu.

Une différence significative existe pour les Cpk avec une valeur moyenne qui a tendance à être inférieure pour le Master king. Deux hypothèses peuvent être émises. La première se base sur le fait que la période de distribution du Master king intervient avec trois mois d'entraînement supplémentaires par rapport au Master compétition. Le facteur entraînement peut avoir une incidence sur la baisse des Cpk (adaptation aux microtraumatismes musculaires induits par l'exercice). La deuxième repose sur les différences intrinsèques entre les deux concentrés : le Master king permettrait un fonctionnement musculaire avec moins de lésions consécutives à l'effort. On peut supposer que l'apport accru d'acides gras a une influence sur le métabolisme énergétique musculaire mis en place (augmentation de la bêta-oxydation). Cette modification semble favorable pour ce type de chevaux et de discipline.

➤ *Protéines*

Il existe une différence très significative pour les protéines totales et l'albumine avec une tendance à être inférieure sous Master king. L'apport alimentaire de protéines peut expliquer cette variation. En effet, les quantités fournies avec le Master king sont inférieures à celles fournies avec le Master compétition avec un rapport MADC/UFC d'environ 70 g. La concentration sanguine en protéines totales et albumine est sensible aux apports protéiques alimentaires.

Graphiquement, on observe une chute de la concentration en albumine suite au changement d'aliment puis une réaugmentation. Une période encore plus longue sous Master king aurait permis d'observer l'évolution de cette concentration avec peut être un retour à des valeurs de départ ou une stabilisation sur des normes inférieures. De la même façon, la distribution des aliments dans l'ordre inverse permettrait d'étudier ensuite l'influence d'un apport alimentaire de nouveau plus riche en protéines.

➤ *Urée et créatinine*

Seule l'urée présente une différence significative avec une concentration inférieure sous Master king. Comme pour l'albumine, cette variation peut s'expliquer par la baisse de l'apport alimentaire en protéines. Cette variation est ici intéressante car l'urée reste un « déchet métabolique » qui doit être éliminé par l'organisme majoritairement dans l'urine mais aussi en partie dans la sueur. Pour ces chevaux de CCE, un catabolisme protéique moindre et une quantité d'urée plus faible dans la sueur peut être intéressant.

➤ *Glucose, cholestérol, triglycérides et β-OH*

On constate une différence significative pour le cholestérol, les triglycérides et les β-OH. La glycémie semble être correctement régulée et dans ce cadre l'insulinémie aurait pu apporter des renseignements complémentaires. Néanmoins, l'aspect financier nous a contraints à ne pas réaliser ce dosage.

La concentration en cholestérol semble supérieure sous Master king : ceci peut certainement être corrélé à l'apport d'acides gras quatre fois plus important. Cette augmentation des matières grasses semblent bien tolérées sur toute la période d'étude. Une durée encore plus longue avec des dosages plus espacés (incluant certains paramètres de contrôle de la fonction hépatique) pourrait permettre de vérifier que cet apport de matières grasses n'est pas défavorable à plus long terme.

La concentration en triglycérides paraît légèrement inférieure sous Master king. On remarque donc que même avec un apport alimentaire riche en matières grasses, les 9 chevaux ont conservé une triglycéridémie basse. Cette observation est avantageuse puisque nous cherchons à apporter un taux de matières grasses élevé sans provoquer d'anomalie d'abord au niveau sanguin puis certainement au niveau métabolique et organique.

Le nombre de valeurs supérieures ou égales à 0.2 mmol/L pour les β-OH est inférieur sous Master king. L'interprétation de ces données reste très délicate compte tenu du peu d'information disponible à l'heure actuelle sur ce paramètre dans l'espèce équine. Nous pouvons penser que cette variation résulte d'une adaptation de l'organisme mais seules des études complémentaires pourraient confirmer ou infirmer cette hypothèse et éventuellement apporter des réponses ou d'autres suggestions. Le point important est que les chevaux ont conservé des valeurs très basses tout au long de l'étude.

II.C.3.Limites et avantages du Master king au vu des résultats. Perspectives

Dans le cadre de cette étude, le Master king a montré certains aspects avantageux. D'une part, l'apport de protéines alimentaires semble mieux adapté avec un rapport MADC/UFC plus proche des valeurs estimées optimales par l'INRA. Ceci tend à être corroboré par certains points qualitatifs (aspects des crottins, sueur...) mais aussi quantitatifs avec notamment une baisse de l'urémie tout à fait intéressante pour des chevaux de CCE. D'autre part, les acides gras représentent un apport très intéressant à plusieurs points de vue. Les quantités de concentrés distribués sont moins conséquentes puisque cet aliment est plus énergétique et contient 1.13 UFC/kg brut (0.96 UFC/kg brut pour le Master compétition). Les acides gras semblent fournir une énergie métabolisable adaptée au type d'effort réalisé par les chevaux de CCE sans conséquence défavorable sur le plan clinique (prise de poids, etc.) et sur les profils sanguins établis. De plus, certaines observations subjectives suggèrent que les acides gras pourraient jouer un rôle favorable sur la croissance et l'aspect des phanères (poils plus brillant, meilleure pousse de corne).

Un point clé concernant cet aliment est la qualité de sa conservation puisque les acides gras sont oxydables. Aussi, les qualités organoleptiques et nutritives des acides gras sont limitées dans le temps. Cela va imposer un renouvellement des stocks plus rapides et une gestion plus délicate. D'un point de vue financier, il s'agit d'un aliment de haute gamme et les prix de vente sont donc plus élevés.

Aucun effet défavorable n'a été mis en évidence au cours de cette étude mais il conviendrait d'évaluer ce genre de concentrés sur un plus grand nombre d'individus et sur une période plus longue.

Globalement, à l'issue de cette étude, il apparaît qu'un aliment industriel riche en matières grasses (12 %) semble bien toléré par des chevaux de CCE et mieux adapté qu'un aliment à 3% de MG. Le juste apport en protéines est un deuxième point important à soulever puisque la majorité des premières gammes de concentrés semblent souvent hyperprotéiques. L'évolution des connaissances en termes de métabolisme, nutrition animale, optimisation des performances devrait tendre dans les années à venir vers la recherche d'aliments concentrés encore mieux adaptés aux chevaux de CCE et aux efforts qu'ils fournissent. Les prélèvements d'urine et l'évaluation des pertes sudorales devraient également être inclus dans les prochaines études pour apporter des renseignements plus précis sur la régulation (apport/perte).

II.D. Annexe des résultats : données brutes

Les données brutes sont exposées dans ce paragraphe. Les valeurs surlignées sont exclues (Cpk 2 jours et Asat 5 jours post compétition, tubes hémolysés, animaux en repos pour boiterie ou traitements médicamenteux...).

Les valeurs en gras correspondent à la période d'alimentation avec le Master king.

Oros des Aunets

	18/03 /08	25/03 /08	01/04 /08	08/04 /08	15/04 /08	22/04 /08	29/04 /08	06/05 /08	13/05 /08	20/05 /08	27/05 /08	03/06 /08	10/06 /08	17/06 /08	24/06 /08	01/07 /08	08/07 /08	15/07 /08	22/07 /08	29/07 /08	05/08 /08	12/08 /08	19/08 /08	26/08 /08	02/09 /08	09/09 /08		
Con-cours						J + 2 cross				J + 2				J + 2			J + 2				J + 2					J + 3		J + 2
Ca	3,16	2,99	3,01	3,05	2,98	3,1	3,19	3,17	3,35	3,22	3,1	3,07	3,07	3,11	3,05	2,95	3,01	3,08	3,01	3,02	3,07	3,12	2,95	3,07	3,07	3,06	2,93	
Mg	0,82	0,62	0,6	0,68	0,8	0,7	0,3	0,8	0,8	1,1	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	
K	4,9	3,3	3,7	3,9	3,6	3,8	3,3	4	3,4	3,7	3,4	3,2	3,6	3,5	3,7	3,4	3,6	3,6	4	3,5	3,6	4	3	4,3	3,8	3,8		
Na	130	132	136	133	134	134	135	134	134	134	134	135	133	133	132	137	133	133	135	134	134	131	134	134	135	135	134	
Cl	109	103	99	103	109	107	112	105	109	102	110	106	100	102	103	104	96	107	110	106	106	107	106	106	106	106	101	
Asat	269	269	318	285	282	309	309	316	290	294	263	274	281	260	278	251	272	248	260	253	223	279	269	291	291	291	276	
Urée	5,66	4,58	4,77	4,82	4,92	4,49	4,89	4,44	4,54	4,75	4,28	5,13	5,07	4,21	4,2	4,18	3,94	4,02	4,26	4,08	4,61	3,72	4,36	4,04	4,44	4,14		
βOH	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Chol	2,5	2,1	2,2	2,2	2,1	2,2	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2	2,2	2,4	2,5	2,4	2,5	2,7	2,5	2,1	2,6	2,6	2,8	2,8	2,7		
Pal	233	193	328	295	282	524	296	278	285	592	564	315	214	297	270	215	262	232	240	183	213	261	273	260	287	390		
TG	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1		
Gly	1,07	0,98	0,99	0,99	1	1,1	1	1	1	1,1	1	1	1	0,9	1,2	1	1,1	1,1	1,1	1	1	1	0,9	1	1	1		
CK	268	167	179	164	135	169	165	153	132	199	131	153	190	145	158	133	161	140	141	184	142	152	155	156	140	138		
PT	72	70	69	69	61	70	72	77	72	59	71	68	66	66	73	67	67	59	68	69	69	68	69	69	63	60		
Alb	34,94	33,24	31,9	32,85	28,48	31,35	34,24	38,3	32,38	27,12	32,42	31,15	31,74	29,59	33,95	27,64	29,12	23,77	22,14	29,92	29,93	30,89	35,03	26,28	28,66	29,84		
Créat	114	109	104	116	112	107	106	161	111	112	114	122	107	126	125	120	108	116	125	120	119	124	143	122	119	112		
CO2	30,5	22	27	27,3	24	28	31	28	26	31	24	32	31	28	29	30	29	32	27	30	24	28	25	19	30	29		

		Jupiter de Bros																									
	18/03 /08	25/03 /08	01/04 /08	08/04 /08	15/04 /08	22/04 /08	29/04 /08	06/05 /08	13/05 /08	20/05 /08	27/05 /08	03/06 /08	10/06 /08	17/06 /08	24/06 /08	01/07 /08	08/07 /08	15/07 /08	22/07 /08	29/07 /08	05/08 /08	12/08 /08	19/08 /08	26/08 /08	02/09 /08	09/09 /08	
Con-cours						J + 2 cross		J + 3				J + 3		J + 3						J + 2				J + 4 CSO			J + 2
Ca	3,29	2,99	3,08	3,24	3,23	3,36	3,1	3,15	3,29	3,42	3,08	3,01	3,22	3,19	3,17	3,05	3,1	2,97	3,12	3,04	3,12	3,08	2,8	3,23	3,21	3,03	
Mg	0,84	0,9	0,53	0,76	0,9	0,7	0,7	0,8	0,6	1	0,7	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	0,8
K	4,9	4,7	4	4	4,1	3,4	3,2	4,1	4,7	4,5	4,8	2,8	3,9	3,8	3,7	3,1	3,5	2,9	3,6	3,7	3,7	3,9	4,4	3,4	4	4,6	4,2
Na	130	134	136	134	134	133	136	134	135	135	134	136	136	135	134	138	136	136	136	136	134	133	133	135	139	133	133
Cl	105	98	97	103	106	105	112	102	112	106	106	104	104	97	104	102	101	104	106	107	105	106	106	107	107	105	102
Asat	242	243	281	299	232	246	238	259	243	266	278	247	222	235	220	205	200	205	197	224	224	269	192	211	221	232	229
Urée	5,2	4,76	3,66	4,17	4,67	4,96	4,94	5,19	4,14	4,79	4,49	5	4,46	4,25	4,2	4,07	3,07	3,54	3,74	4,75	4,34	3,25	4,02	4,18	3,88	4,07	
βOH	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chol	2	2,1	1,7	2,3	1,8	1,7	2	1,9	2,1	2,2	2	1,8	1,6	1,7	2,1	2,2	2,2	2,1	1,8	2	2,6	2,1	2	2,2	2,2	2,5	2,3
Pal	208	172	324	331	283	356	235	275	228	245	277	265	255	361	156	201	265	327	304	247	219	269	322	316	275	373	
TG	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1	0,3	0,4	
Gly	0,82	0,83	0,94	0,89	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1	0,9	1	0,9	0,8	1,1	1	0,9	0,8	0,8	1	1	1	1	0,9	0,9
CK	154	211	129	203	341	166	167	166	128	195	146	130	163	153	136	201	108	121	119	160	161	92	146	140	157	171	
PT	73	75	76	76	68	71	72	68	71	61	69	68	71	67	73	69	73	65	67	67	67	68	68	70	67	64	
Alb	36,9	36,84	36,66	38,83	34,22	34,58	36,73	36,21	34,55	30,62	34,69	34,46	34,41	31,78	35,32	32,71	32,75	28,27	24,23	28,54	29,42	31,76	35,63	27,65	31,5	34,49	
Créat	120	119	107	88	106	110	115	111	120	123	116	110	80	120	129	116	105	107	110	106	106	121	100	143	116	114	
CO2	31,7	27,7	25,7	31,2	21	26	32	34	27	30	25	32	30	29	35	31	34	35	32	34	34	22	28	25	20	29	27

		Quiet Boy Montagne																	09/09								
	18/03	25/03	01/04	08/04	15/04	22/04	29/04	06/05	13/05	20/05	27/05	03/06	10/06	17/06	24/06	01/07	08/07	15/07	22/07	29/07	05/08	12/08	19/08	26/08	02/09	09/09	
	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	008	/08	/08	08	/08	/08	/08	/08
Con-cours			J + 4			J + 2 cross															J + 6	J + 4					
Ca	3,27	3,25	3,35	3,25	3,35	3,31	3,4	3,42	3,56	3,39	3,31	3,33	3,31	3,28	3,36	3,01	3,24	3,16	3,25	3,26	3,34	3,23	3,2	3,34	3,22	3,18	
Mg	0,9	0,66	0,76	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9
K	5,9	3,8	4,7	4,3	6	3,8	4,7	4,3	5,8	5,1	5,8	5,8	4,5	3,4	4,2	3,5	4	4	4	4,2	4	5,2	5,5	5,5	6,7	6	4,5
Na	129	134	137	134	139	135	134	135	134	134	134	134	134	135	133	139	134	134	135	134	135	133	133	133	133	133	134
Cl	104	107	98	105	106	109	108	108	112	107	107	109	103	100	108	104	104	104	107	107	109	109	110	107	108	108	102
Asat	331	391	428	328	336	354	307	301	303	298	292	299	282	266	287	263	279	290	290	282	270	272	266	290	315	314	295
Urée	5,13	4,31	4,96	4,69	4,71	5,16	4,85	5,04	4,93	4,53	4,82	4,41	5,02	3,72	3,92	4,06	3,65	3,97	4,16	4,27	4,54	3,49	3,71	3,91	3,55	2,83	
BOH	0,21	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	0,22	0,24	0,22	0,2	0,22	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,23	<0,2
Chol	2,7	2,6	2,1	2,3	1,9	2,4	2,5	2,6	2,6	2,6	2,4	2,3	2,1	2	2,4	2,3	2,5	2,7	2,4	2,5	2,5	2,6	2,5	2,7	2,7	2,8	2,6
Pal	187	198	312	293	224	288	242	238	201	375	233	178	156	198	222	142	191	149	154	148	159	159	200	200	192	197	254
TG	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4
Gly	0,98	0,88	0,99	0,84	0,8	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	0,8	1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1	0,8
CK	211	234	221	198	211	192	169	190	178	184	171	206	172	166	575	183	176	177	147	133	150	149	170	170	173	188	157
PT	66	69	68	63	64	66	65	67	67	58	65	66	61	60	64	59	60	57	58	60	63	63	62	62	62	67	62
Alb	38,63	39,19	37,9	36,33	37,18	36,44	37,68	39,74	34,73	30,5	36,81	36,53	34,93	33,87	36,48	32,2	32,44	30,68	25,28	30,32	31,3	34,63	37	29,99	32,87	37,31	
Créat	112	111	111	114	117	118	119	116	127	116	113	128	134	122	127	113	117	125	126	124	128	151	238	124	114	118	
CO2	30,1	29,2	22,5	30,6	23	27	35	31	28	30	28	31	35	28	32	34	37	37	33	34	24	28	26	20	28	30	

		Quetchuan Montagne																									
	18/03 /08	25/03 /08	01/04 /08	08/04 /08	15/04 /08	22/04 /08	29/04 /08	06/05 /08	13/05 /08	20/05 /08	27/05 /08	03/06 /08	10/06 /08	17/06 /08	24/06 /08	01/07 /08	08/07 /08	15/07 /08	22/07 /08	29/07 /08	05/08 /08	12/08 /08	19/08 /08	26/08 /08	02/09 /08	09/09 /08	
Con-cours						J + 2 cross				J + 4																	
Ca	3,47	3,33	3,48	3,27	3,55	3,5	3,57	3,5	3,62	3,41	3,4	3,42	3,44	3,2	3,54	3,17	3,41	3,41	3,29	3,28	3,39	3,35	3,24	3,47	3,3	3,14	
Mg	1,06	0,81	0,87	0,89	1	0,9	1	1	0,8	0,9	1	0,9	0,9	1	1,1	0,9	1,1	1	1	1	1,1	1	1	1,1	1	1	0,9
K	3,1	4,8	4,2	4,5	3,8	3,9	4,2	3,8	4,2	3,3	4,4	4,8	3,7	1,6	3,9	2,2	3,1	2,6	3,2	3,5	4,2	4,1	3,1	5,3	3,8	3,5	
Na	131	133	137	134	140	135	136	134	134	136	134	134	135	140	135	142	136	135	138	138	135	134	135	135	135	135	134
Cl	105	99	100	103	104	107	114	104	107	104	105	103	103	104	107	104	103	108	108	108	109	110	105	105	107	107	103
Asat	314	302	327	298	308	328	314	276	288	286	279	278	276	265	282	284	273	268	281	277	299	289	282	299	299	294	
Urée	5	4,87	5,3	4,91	4,99	5,65	5,48	5,45	4,99	5,08	4,31	4,86	5,36	4,39	4,61	4,8	4,28	4,75	4,57	4,89	6,22	3,89	4,71	4,86	4,11	3,93	
βOH	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,21	0,2	0,25	0,22	0,2	0,24	0,26	<0,2	<0,2	0,23	<0,2	0,22	0,2	<0,2	0,24	<0,2	0,3	0,23	0,23	<0,2	0,24	
Chol	3,2	2,9	3,1	2,5	2,8	2,7	3	2,7	2,8	2,8	2,6	2,7	2,4	2,8	2,9	3,1	3	3	2,8	3	3,1	2,8	3,1	3,1	3	2,7	
Pal	199	169	288	250	257	288	340	226	218	269	257	188	197	234	288	178	206	192	188	163	185	212	220	216	243	307	
TG	0,7	0,6	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,5	0,5	
Gly	0,78	0,89	0,87	0,83	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
CK	410	207	225	221	361	219	233	209	192	187	176	206	205	192	203	215	195	202	172	180	208	195	194	206	228	322	
PT	67	67	68	66	60	70	71	66	66	59	67	64	63	68	69	67	63	57	61	62	66	62	63	63	59	60	
Alb	36,82	36,9	36,13	36,89	33,41	36,55	38,65	37,26	34,36	30,83	35,33	34,96	34,67	37,09	36,94	34,14	32,38	30,71	25,58	29,22	33,57	32,6	36,56	29,13	29,2	34,31	
Créat	134	141	129	149	127	122	138	137	138	137	136	157	107	146	141	133	129	125	143	131	141	154	159	139	131	129	
CO2	31,5	25,2	31,1	24,9	23	27	33	30	28	31	27	29	33	27	33	32	36	35	33	30	24	28	26	19	31	26	

		Lampris																										
		18/03/08	25/03/08	01/04/08	08/04/08	15/04/08	22/04/08	29/04/08	06/05/08	13/05/08	20/05/08	27/05/08	03/06/08	10/06/08	17/06/08	24/06/08	01/07/08	08/07/08	15/07/08	22/07/08	29/07/08	05/08/08	12/08/08	19/08/08	26/08/08	02/09/08	09/09/08	
Con-cours							J + 2 cross					J + 3			J + 3		J + 3 Bles-sé					J + 3						J + 3
Ca	3,34	3,13	3,36	3,21	3,31	3,44	3,17	3,45	3,48	3,15	3,37	3,33	3,34	3,23	3,32	3,18	3,33	3,41	3,26	3,25	3,28	3,28	3,25	3,28	3,22	3,33	3,31	
Mg	0,98	0,84	0,74	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	1	1	1	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	1,1	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1	
K	4,2	3,5	3	3,3	3,7	3,9	2,8	4	4,3	3,4	4,1	4,3	3,7	3	3,5	2,9	3,4	2,9	3,9	3,7	5,1	3,4	3,2	3,4	4,3	4,3	3,5	
Na	130	135	138	134	135	135	136	133	134	135	134	136	136	137	136	140	136	135	135	137	135	135	137	134	136	133	135	
Cl	110	97	92	102	103	104	100	104	105	98	106	102	106	99	101	101	105	101	101	105	106	107	104	105	106	105	101	
Asat	259	276	329	263	263	282	236	256	254	232	277	297	275	260	248	225	387	341	250	221	221	280	248	248	256	250	279	
Urée	6,71	6,05	6,89	6,37	6,56	5,75	6,47	6,64	6,69	5,77	5,85	6,48	7,34	5,95	5,61	6,26	6,89	5,03	6,49	6,73	6,58	6,47	4,92	6,27	4,88	4,81		
βOH	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,23	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	0,22	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Chol	2,5	2	2	2,2	2,3	2,3	2,1	2,4	2,2	2,1	2	2,1	2	2	2,4	2,5	2,7	2,4	2,2	2	2,3	2	2	2,1	2,3	2,2	2,2	
Pal	192	202	312	310	273	324	244	251	301	352	449	368	279	370	315	284	363	301	291	204	239	263	252	263	254	251	362	
TG	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	
Gly	1,05	0,85	0,94	0,86	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	1,2	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	
CK	497	209	144	157	135	166	159	147	442	149	143	156	149	132	152	138	310	209	120	123	147	147	141	126	161	188	147	
PT	68	67	62	63	61	67	66	69	70	56	69	66	65	66	68	67	65	60	66	62	68	68	59	61	62	59	60	
Alb	33,12	36,75	34,61	35,27	34,37	35,75	35,07	38,88	36,66	29,68	37,49	35,1	36,02	36,7	36,47	34,31	33,76	32,42	28,09	29,67	32,61	36,41	31,39	30,45	32,28	35,25		
Créat	152	148	153	167	148	148	158	142	152	142	142	169	147	154	163	167	129	142	144	157	160	160	168	191	152	153	157	
CO2	33,4	27,5	30,6	31,2	26	28	37	31	27	29	28	33	35	32	32	33	39	38	35	34	25	26	30	26	18	33	29	

		18/03	25/03	01/04	08/04	15/04	22/04	29/04	06/05	13/05	20/05	27/05	03/06	10/06	17/06	24/06	01/07	08/07	15/07	22/07	29/07	05/08	12/08	19/08	26/08	02/09	09/09		
		/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	/08	
Con-cours							J + 2 cross						J + 2 bles-sé																
Ca	3,49	3,27	3,39	3,52	3,48	3,48	3,36	3,32	3,41	3,37	3,34	3,49	3,36	3,55	3,53	3,23	3,13	3,32	3,32	3,2	3,31	3,35	3,39	3,14	3,46	3,39	3,14	3,14	
Mg	0,99	0,91	0,82	0,82	0,9	0,9	0,8	1	1	1	1,2	0,9	0,9	0,8	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
K	4,6	4,2	3,9	4,5	4,3	4,3	4	4,6	4,2	4,6	4,2	4,4	4,6	4,1	3,7	3,5	3,6	2,5	4	3,6	4,2	4,2	3,4	4,9	4	4,3	2,8	2,8	
Na	129	133	137	134	138	138	135	133	135	135	135	134	135	137	136	135	137	138	134	134	135	134	136	134	134	136	134	134	135
Cl	106	105	100	105	105	105	108	109	106	101	108	107	106	104	105	106	105	106	106	110	109	111	105	106	105	105	108	104	
Asat	356	381	712	520	439	439	383	346	324	314	297	317	346	401	352	296	253	259	281	274	280	299	304	299	291	323	313	313	
Urée	6,58	5,24	5,78	5,32	6,06	6,06	5,69	5,89	5,67	6,32	5,45	6,57	5,77	5,81	5,56	5,96	5,52	4,85	5,09	5,48	5,57	6,19	4,75	5,56	5,46	4,76	4,31	4,31	
βOH	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,14	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Chol	2,3	1,9	2,3	2,3	2	2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,2	2,1	2	2,3	2	1,9	2	2,1	2,2	2,2	2,3	2,5	2,4	2,3	2,3	2,4	2,2	2,2	
Pal	140	108	185	203	175	175	219	159	166	168	149	416	230	170	197	126	126	164	145	158	128	144	185	166	156	159	203	203	
TG	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	
Gly	0,87	0,87	0,86	0,94	0,9	0,9	1	1	0,9	1	0,9	0,9	1	1,1	0,8	1	0,8	0,9	0,9	0,9	1	0,8	0,9	1	0,8	0,8	0,8	0,8	
CK	938	218	288	222	2460	2460	283	251	231	203	185	193	232	538	151	149	187	217	233	190	186	200	201	193	205	218	213	213	
PT	71	66	70	69	67	67	73	74	73	71	60	70	72	79	73	68	65	62	60	64	64	69	67	66	65	61	61	61	
Alb	38,23	37,65	37,15	40,41	40,26	40,26	38,81	41,05	42,01	38,37	32,99	39,21	39,34	43,48	40,47	37,92	34,62	34,11	31,95	29,71	31,75	34,52	35,82	40,01	32,93	33,93	37,4	37,4	
Créat	152	150	140	149	145	145	142	144	145	119	140	143	145	120	143	150	144	142	151	142	152	157	158	159	145	149	145	145	
CO2	32,2	28,7	27,2	30,6	22	22	28	32	32	28	30	26	31	38	35	34	32	36	34	31	32	23	31	25	15	30	27	27	

		Jet de Parménie																									
	18/03 /08	25/03 /08	01/04 /08	08/04 /08	15/04 /08	22/04 /08	29/04 /08	06/05 /08	13/05 /08	20/05 /08	27/05 /08	03/06 /08	10/06 /08	17/06 /08	24/06 /08	01/07 /08	08/07 /08	15/07 /08	22/07 /08	29/07 /08	05/08 /08	12/08 /08	19/08 /08	26/08 /08	02/09 /08	09/09 /08	
Con-cours																	J + 2 Bles-sé						J + 4 CSO x2				
Ca	3,59	3,26	3,23	3,23	3,37	3,18	3,36	3,38	3,3	3,24	3,13	3,2	3,35	3,29	3,26	3,07	3	3,28	2,91	3,13	3,18	3,3	3,11	3,28	3,16	3,06	
Mg	0,93	0,72	0,77	0,85	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	1,3	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	1	0,6	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	
K	4,3	4,1	3,8	4,1	4,1	4,1	4,1	3,9	4,4	3,4	3,1	3,9	3,8	3,7	3,8	3,7	3,1	3,3	3,5	3,4	3,3	4,5	4,3	4	2,9	4,5	
Na	130	133	137	133	138	133	135	134	134	136	135	135	135	135	134	139	135	136	134	136	136	133	133	136	134	135	
Cl	108	88	100	133	101	109	109	101	107	101	107	108	104	107	107	105	102	106	106	106	110	108	109	108	107	109	106
Asat	429	391	420	379	378	406	398	370	365	343	355	376	363	379	342	374	540	332	269	290	337	332	342	333	370	345	
Urée	6,75	5,49	6,52	5,74	6,16	3,21	5,88	5,55	6,34	6,59	5,53	5,71	6,25	5,74	5,58	5,4	4,32	4,7	4,45	5,23	6,45	4,56	5,72	5,35	5,28	3,89	
βOH	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,24	0,2	0,22	0,2	<0,2	<0,2	0,23	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Chol	2,8	2,4	2,5	2,6	2,5	2,5	2,8	2,6	2,4	2,5	2,4	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,6	3	2,2	2,3	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,6	
Pal	272	218	376	322	175	371	301	334	286	349	294	280	256	361	266	263	367	352	368	272	280	314	320	305	333	390	
TG	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,4	0,5	
Gly	0,83	0,81	0,91	0,9	0,9	0,9	1	1	0,9	0,9	0,8	1	0,9	0,8	0,9	0,8	1,3	0,8	1,2	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	
CK	515	236	245	341	399	272	220	217	960	197	196	219	205	506	207	293	557	190	127	185	209	193	207	215	224	204	
PT	79	73	71	51	66	77	76	76	71	58	72	70	67	70	70	70	65	64	64	67	69	68	67	67	62	61	
Alb	39,44	37,93	36,32	27,19	35,9	37,51	38,15	39,42	35,35	28,4	37,13	35,89	34,55	35,91	35,13	33,63	34,8	33,06	28,2	31,01	41,19	33,56	38,04	29,57	31,59	35,48	
Créat	124	114	119	458	124	122	126	97	128	105	127	120	147	136	137	126	106	142	120	130	133	140	175	129	126	128	
CO2	31,7	19	28,8	29,6	23	26	32	31	27	34	24	33	37	32	33	34	32	38	31	32	22	29	25	26	30	28	

		Guerrière II																									
	18/03/08	25/03/08	01/04/08	08/04/08	15/04/08	22/04/08	29/04/08	06/05/08	13/05/08	20/05/08	27/05/08	03/06/08	10/06/08	17/06/08	24/06/08	01/07/08	08/07/08	15/07/08	22/07/08	29/07/08	05/08/08	12/08/08	19/08/08	26/08/08	02/09/08	09/09/08	
Con-cours						J + 2						J + 2									Sang hémo -lysé						
Ca	3,57	3,28	3,43	3,45	3,51	3,6	3,53	3,44	2,77	3,53	3,62	3,64	3,61	3,63	3,39	3,21	3,6	3,46	3,41	2,88	3,89	3,37	3,36	3,42	3,37	3,22	
Mg	0,83	0,76	0,69	0,88	0,7	0,7	0,8	0,8	0,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
K	3,7	4,5	4,3	5	4,2	2,3	4,6	4,3	5,3	4,5	4,7	5,4	4,2	3,3	2,9	4,2	4,1	4,1	2,5	5,1	6,2	5,7	5,3	5	3,8	4,5	
Na	132	134	138	136	136	137	136	136	135	135	135	135	137	137	136	136	138	137	141	137	137	133	134	136	135	136	136
Cl	110	97	102	104	102	113	112	105	108	106	107	109	101	105	107	106	102	106	113	96	109	108	110	107	107	107	105
Asat	303	305	347	307	331	344	329	323	284	319	305	330	319	344	349	287	345	352	364	69	422	403	409	443	455	433	
Urée	6,95	4,86	6,11	6,61	6,11	7,07	6,58	6,29	5,67	5,37	5,81	5,68	6,56	5,31	4,61	4,64	5,11	5,61	5,18	4,58	6,24	7,45	5,89	5,11	4,23	4,27	
βOH	0,21	<0,2	<0,2	<0,2	0,22	0,21	0,23	0,24	0,24	0,22	<0,2	0,24	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chol	2,1	1,8	2	2	2,2	2,1	2,2	2,3	2	2,4	2,2	2,3	2,1	2,2	2,2	2,4	2,4	2,3	2,4	2,1	2,6	2,4	2,6	2,6	2,6	2,4	
Pal	234	139	322	333	290	350	279	307	229	479	399	333	251	333	252	248	316	298	290	199	311	312	381	346	389	513	
TG	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,2	0,5	0,5	
Gly	0,94	1,06	0,9	0,93	1	0,9	1	1	1,1	1	0,9	1	0,9	0,9	0,8	0,9	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,9	
CK	193	270	193	235	783	520	242	182	163	224	199	316	244	200	176	210	289	253	185	101	403	302	252	276	187	310	
PT	75	73	79	74	66	78	77	76	71	66	73	78	71	70	75	72	73	68	75	56	77	70	74	73	66	64	
Alb	38,23	38,6	41,21	40,29	36,82	38,44	39,24	40,97	36,56	36,39	37,57	38,79	37,49	36,29	37,53	33,7	35,72	34,31	33,55	24,72	30,98	34,95	40,04	32,53	33,25	35,11	
Créat	130	104	120	137	118	114	118	113	116	108	124	143	147	120	126	139	115	133	124	52	130	134	143	117	111	110	
CO2	30,3	25,6	25,9	28	25	26	32	29	27	29	24	27	33	32	33	32	34	35	30	26	22	29	25	24	29	26	

		Prémice des Prés																					
	15/04 /08	22/04 /08	29/04 /08	06/05 /08	13/05 /08	20/05 /08	27/05 /08	03/06 /08	10/06 /08	17/06 /08	24/06 /08	01/07 /08	08/07 /08	15/07 /08	22/07 /08	29/07 /08	05/08 /08	12/08 /08	19/08 /08	26/08 /08	02/09 /08	09/09 /08	
Concours																	J + 2					J + 2	
Ca	3,31	3,39	3,5	3,39	3,62	3,5	3,29	3,27	3,28	3,31	3,34	3,26	3,51	3,48	3,3	3,27	3,29	3,34	3,24	3,38	3,3	3,2	
Mg	0,9	0,9	0,9	0,6	0,8	1,8	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	1	0,9	1	1	1	1,2	0,7	0,9	0,9	0,9	
K	3	2,7	4,9	4,1	4,6	4,2	3,9	1,7	3,1	2,8	3	2,3	3	3	2,3	3,2	4,2	4,3	3,8	4,1	3,3	3,4	
Na	136	137	135	135	136	136	136	140	137	139	137	139	138	137	139	138	137	136	136	137	136	136	
Cl	106	108	108	100	101	98	105	106	98	103	105	107	103	105	109	111	107	103	108	108	104	103	
Asat	320	327	332	301	291	301	305	320	343	308	319	328	325	297	334	309	385	336	316	336	335	322	
Urée	5,02	5,4	5,53	5,91	5,29	5,15	5,32	4,45	6,01	5,2	5,52	5,47	4,78	5,61	5,49	5,47	6,43	4,44	5,7	5,74	5,23	4,24	
BOH	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,21	0,21	<0,2	0,22	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Chol	2,2	2,2	2,6	2,4	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,3	2,5	2,2	2,5	2,5	2,6	2,7	3	2,5	2,5	2,8	2,8	2,6	
Pal	340	429	370	291	277	347	379	276	252	345	227	254	392	246	253	207	268	284	271	255	272	341	
TG	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,6	0,5	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	
Gly	0,9	1	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	
CK	207	202	193	195	190	199	199	209	247	203	210	184	242	232	198	231	313	215	202	217	208	202	
PT	68	75	81	77	75	67	73	72	75	79	79	72	74	67	74	72	80	75	71	74	67	67	
Alb	32,56	32,74	35,88	35,89	34,32	31,53	32,72	31,66	34,01	36,48	36,15	36,85	33,96	30,54	29,78	32,32	25,15	33,56	33,54	30,25	31,12	33,62	
Créat	142	142	141	137	129	133	143	141	147	148	151	126	141	169	146	157	151	160	111	155	144	142	
CO2	26	28	33	30	28	32	29	32	35	29	34	27	35	37	30	31	26	30	25	26	32	27	


CONCLUSION

L'alimentation du cheval de concours complet demeure une préoccupation importante aux yeux des cavaliers tout comme l'entraînement et le suivi médical et sportif. Ces derniers souhaitent obtenir le meilleur de leur cheval tout en préservant son intégrité physique sur le long terme. Cette étude, qui représente un travail préliminaire, aura permis de suivre quelques chevaux de CCE sur plusieurs mois. Il serait désormais intéressant que d'autres travaux soient poursuivis dans ce domaine pour affiner les connaissances en termes d'apport alimentaire et de suivis pour ce type d'effort particulier.

L'objectif de l'étude expérimental menée dans ce travail était d'établir et d'observer d'éventuelles variations sur les profils sanguins biochimiques réalisés sur des chevaux de concours complet recevant sur deux périodes de trois mois des aliments concentrés différents. Les deux points d'intérêt majeur concernent l'apport d'énergie sous forme de matières grasses et l'apport de protéines. En effet, nous avons pu constater qu'un taux de 12 % de matières grasses était très bien toléré sur le court terme sans effet défavorable mis en évidence. Cette forme d'énergie métabolisable présente aussi comme avantage de proposer des quantités d'aliments moindres puisque l'UFC par kg brut est plus élevée. D'autre part, il apparaît clairement qu'on peut diminuer la production d'urée en optimisant l'apport protéique et le rapport énergie-protéines qui doit tendre vers des valeurs plus proches des recommandations (MADC/UFC = 65-70 g).

Il serait utile de poursuivre de telles études afin d'affiner nos connaissances et d'optimiser les apports alimentaires pour des chevaux pratiquant une discipline aussi atypique que le concours complet.

**Le Professeur responsable
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon**


Agnès BENAMOU-SMITH
Dr Vét, Responsable UP Equine
Pôle Equin, ENVL
69280 Marcy l'Etoile (France)

Le Président de la thèse



Vu et permis d'imprimer

Lyon, le 10 NOV. 2010

**Pour le Président de l'Université,
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales,
Professeur F.N GILLY**


Le Président du Comité de
Coordination des Etudes Médicales

François-Noël GILLY

**Vu : Le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon**

Par délégation
Pr F. Grain - DEVE


VetAgro Sup
Campus Vétérinaire

Bibliographie

AGUILERA-TEJERO E, ESPETA JC, LOPEZ I, BAS S, GARFIA B, RODRIGUEZ M.; 2001

Plasma ionized calcium and parathyroid hormone concentrations in horses after endurance rides

J. Am. Vet. Med. Assoc., 219 (4), 488-490.

ART T., AMORY H., LEKEUX P. ; 2000 (a)

Notions de base de physiologie de l'effort

Pratique Vétérinaire Equine, 32, n° spécial, 247-254

ART T, AMORY H & LEKEUX P. ; 2000 (b)

Affections musculaires et intolérance à l'effort.

Pratique vétérinaire équine, 32, 305-309

BAILEY SR, MENZIES-GOW NJ, MARR CM, ELLIOTT J, 2004

The effects of vasoactive amines found in the equine hindgut blood flow in the normal horse

Equine Vet. J., 36 (3), 267-272.

BARBE ; 2004

Les rhabdomyolyses à l'exercice chez le cheval dites "myopathies" à l'exercice : étude bibliographique.

Thèse de Doctorat Vétérinaire, Faculté de Médecine de Nanates, 112 p.

BARREY E. ; 1993

Typologie musculaire et aptitude à l'exercice physique chez le cheval.

EquAthlon, 5, 18, 3-11.

BLANCHARD G. ; 2008

Nutrition : comment nourrir un équidé avant et après un épisode de fourbure

Nouv. Prat. Vét. Eq., vol 5, n°17, 38-41.

BRUIN G., KUIPERS H., KEIZER H.A., VANDER V.G.J. ; 1994

Adaptation and overtraining in horses subjected to increasing training loads

Journal of applied physiology, 76, 5, 1908-1913.

BOISSEAU N. ; 2005

Nutrition et bioénergétique du sportif. Bases fondamentales

Masson, Paris, 217 p.

CARLSON GP. ; 1983

Thermoregulation and fluid balance in the exercising horse

In : Snow DH, Persson SGB, Rose RJ, editors. Equine Exercise Physiology. Cambridge : Granta Editions, 291-309.

CARLSON GP ; 1987

Hematology and body fluids

In : Equine exercise physiology 2, Gillespie JR et Robinson NE editors, Davis: ICEEP Publications, p393.

CARLSON GP ; 2002

Clinical chemistry tests.

In : Large Animal Internal Medicine. Smith BP eds.

Mosby Cie, St Louis, 389-414.

CIRIER P. ; 2004

Les coliques digestives du cheval

Maloine, Paris, 114 p.

DAISUKE ETO, SEIKO YAMANO, ATSUSHI HIRAGA, HIROFUMI MIYATA ; 2006
Recruitment pattern of muscle fiber type during flat and sloped treadmill running in Thoroughbred horses

In : 7th International Conference on Equine Exercise Physiology, 26-31 August, 2006, Fontainebleau, France

DESJARDINS I., CADORE J.L. ; 2004

Etiologie et pathogénie de l'altération de la température corporelle chez le cheval

Pratique Vétérinaire Equine, 36, 142, 7-12

DESJARDINS I., CADORE J.L. ; 2006

Analyses sanguines équinnes. II-Biochimie

Prat Vét Equine, 38, n°152, 7-16.

DUNETT CE, MARLIN DJ, HARRIS RC ; 2002

Effect of dietary lipid on response to exercise: relationship to metabolic adaptation

Equine Vet J Suppl., (34), 75-80.

DUNKEL B, MC KENZIE HC ; 2003

Severe hypertriglyceridaemia in clinically ill horses : diagnosis, treatment and outcome

Equine Vet J, 35, 590 p.

EADES S.C., BOUNOUS D.I. ; 1997

Laboratory profiles of equine diseases

Mosby, Saint Louis, 304 p.

EATON M.D. ; 1994

Energetics and performance

In : Hodgson D.R., Rose R.J. (eds) : Principles and practice of equine sports medicine. The athletic horse

Saunders, Philadelphia, 50-61.

ELLIS A. D., HILL J. ; 2005

Nutritional physiology of the horse

Nottingham University Press, 361 p.

EVANS D.L. , ROSE R.J. ; 1987

Maximum oxygen uptake in racehorses : changes with training state and prediction from submaximal cardiorespiratory measurements

In : Gillespie J.R., Robinson N.E. (eds), Equine Exercise Physiology 2, ICEEP Publications, Davis, 52-67.

FEDERATION EQUESTRE INTERNATIONALE ; 2009

Règlement des concours complet de la Fédération Equestre Internationale

<http://www.fei.org/Disciplines/Eventing/Rules/Pages/Regulations.aspx>

FEDERATION FRANCAISE D'EQUITATION ; 2008

Règlement des concours complets d'équitation.

Lavauzelle, Ed. 2008, 224 p.

FELIG P, WARHEN J. ; 1975

Fuel homeostasis in exercise

N. Engl., Med., 293, 1078-1084.

FOREMAN J.H. ; 1998

The exhausted horse syndrome

Vet. Clin. North Am. : Equine Pract., 14, 1, 147-157.

FORTIER G., BERMANN F., COUROUCE A. ; 2000 ; (1)

Approche hématologique et biochimique dans le suivi médico-sportif du cheval athlète : intérêts et limites. 1-Bilan au repos.

Prat. Vét. Eq., vol 32, n° spécial, 97-102.

FORTIER G., BERMANN F., COUROUCE A. ; 2000 ; (2)

Approche hématologique et biochimique dans le suivi médico-sportif du cheval athlète : intérêts et limites. 2-Bilan à l'exercice et à l'entraînement.

Prat. Vét. Eq., vol 32, n° spécial, 103-108.

FRAPE D; 2005

Equine nutrition and feeding, third edition

Blackwell publishing, Oxford, 650 p.

FRAPE D. ; 2010

Equine nutrition and feeding, fourth edition

Wiley-Blackwell, Oxford, 512 p.

GALLOUX P. ; 2000

Concours complet d'équitation - Préparation, entraînement et compétition

Maloine, 240 p.

GEELEN S.N.J., BLAZQUEZ C., GEELEN M.J.H., SLOET VAN OLDRUITENBORGH-OOSTERBAAN M.M. and BEYNEN A.C.; 2001

High fat intake lowers hepatic fatty acid synthesis and raises fatty acids oxidation in aerobic muscle in Shetland ponies.

Brit. J. Nutr. 86: 31-36.

GEELEN S.N.J., SLOET VAN OLDERUITENBORGH-OOSTERBAAN M.M. and BEYNEN, A.C. ;1999

Dietary fat supplementation and equine plasma lipid metabolism.

Equine Vet. J. suppl. 30: 475-478.

GEISER DR, ANDREWS FM, ROHRBACH BW, WHITE SL, MAYKUTH PL, GREEN EM ,PROVENZA MK ; 1995

Blood ionized calcium concentrations in horses before and after the cross-country phase of three-day event competition.

Am J Vet Res, 56, 1502-1505.

GEOR R.J. ; 2008

Nutritional management of the equine athlete

In : HINCHCLIFF, K.W. ; GEOR, R.J. ; KANEPS, A.J., Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse

Saunders Elsevier, Edinburgh, 301-325.

GEOR R.J., McCUTHEON L.J. ; 1996

Influence of training on exercise-associated heat tolerance in Thoroughbred horses

J. Sports Sci., 14, 347 p.

GEOR R.J., LARSEN L., WATERFALL HL., STEWART-HUNT L., McCUTHEON L.J., 2006

Route of carbohydrate administration affects early post exercise muscle glycogen storage in horses

Equine vet J. suppl, (36), 590-595.

GLUNTZ X., GOGNY M. ; 2007

Les coliques du cheval

Point Vet Ed, chapitre 4, 188-235.

GOUPIL X. ; 1990

Suivi de l'entraînement de chevaux de concours complet d'équitation par enregistrement de la fréquence cardiaque et dosage de la lactatémie

Thèse de Doctorat Vétérinaire, faculté de Médecine de Nantes, 139 p.

GRAHAM-THIERS PM, KRONFELD DS, KLINE KA, and SKLAN DJ.; 2001

Dietary protein restriction and fat supplementation diminish the acidogenic effect of exercise during repeated sprints in horses.

J Nutr 131, 1959-1964

GUTHRIE A.J. ; LUND R.J. ; 1998

Thermoregulation. Base mechanisms and hyperthermia

In : Fluids and electrolytes in athletic horses, Vet. Clin. North Am. Equine Pract, 14, 1, 45-58.

HINCHCLIFF, K.W. ; 1998

Fluids and electrolytes in athletic horses

Veterinary Clinics of North America. Equine Practice, 14 , 1, 1-225

HINCHCLIFF, K.W. ; GEOR, R.J. ; KANEPS, A.J. ; 2008

Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse

Saunders Elsevier, Edinburgh, 30-80.

HODGSON DR. ; 1993

Exercise-associated myopathy : is calcium the culprit ?

Eq. Vet. J., 25 (1), 1-3.

HODGSON DR. ; 2000

Thermorégulation chez le cheval à l'effort

Prat Vet Equine, 32, n° spécial, 15-21.

INRA ; 1990

L'alimentation des chevaux

MARTIN-ROSSET W. Ed., Paris, 232 p.

INSTITUT DE L'ELEVAGE ; page consultée le 17 juin 2010

Notation de l'état corporel des chevaux de selle et de sport. Guide pratique, 1997 [en ligne]

Adresse URL : http://www.inst-elevage.asso.fr/html1/IMG/pdf/Notation_etat_corporel_cheval.pdf

JESSEN C. ; 2000

Temperature Regulation in Humans and Other Mammals

Springer, Berlin, 193 p.

JUDSON G.J., MOONEY G.J., THORNBURY R.S. ; 1983

Plasma biochemical values in thoroughbred horses in training

Equine exercise physiology 354-360

KARLSTRÖM K, ESSÉN-GUSTAVSSON B, LINDHOLM A, COLLINDER E ; 2006

Differences in muscle fibre type composition in Swedish cold-blooded trotters of different ages

In : 7th International Conference on Equine Exercise Physiology, 26-31 August, 2006, Fontainebleau, France

KRAOUCHI DE, HAMDI PACHA Y, BENLATRECHE C, BENAZZOUZ M, BERERHI EH, NOUAR R ; 2007

Effets d'une dose unique de dexaméthasone sur quelques paramètres biochimiques chez le cheval.

Science et technologie C, Université Mentouri Constantine, Algérie, n°28, 87-91.

LAMBIEY S.A.; 2008

Fiches descriptives des produits : Master Compétition et Master King

LAUNOIS T. ; 2001

Prévention de l'amaigrissement et remise en état du cheval maigre par l'alimentation

Prat. Vet Equine., 33, n° spécial , 13-21.

LAURE , DINE ; 2001

Exploration du suivi biologique du sportif

Editions MASSON, 211 p.

LAWRENCE L.M. ; 1990

Nutrition and fuel utilization in the athletic horse
Vet. Clin. North Am. Equine Pract., 6, 2, 393-418.

LE COZ BUNEL E. ; 2006

L'alimentation du cheval de concours complet d'équitation
Thèse de Doctorat Vétérinaire, faculté de médecine de Toulouse, 194 p.

LE GALLAIS D., MILLET G. ; 2007

La préparation physique. Optimisation et limite de la performance sportive.
Elsevier Masson, Paris, 408 p.

LEWIS L. D. ; 1995

Feeding and care of the horse, second edition
Williams and Wilkins, 446 p.

LINDINGER MI, 2008

Sweating, dehydration and electrolyte supplementation : challenges for the performance horse
Proceeding of the 4th European Equine Nutrition and Health, Congress April 18-19, The Netherlands, p. 46-56.

LINDINGER MI, ECKER GL ; 1995

Ion and water losses from body fluids during a 163 km endurance ride
Eq. Vet. J. Suppl., 18, 314-322.

LUMSDEN JH, ROWE R, MULLEN K ; 1980

Hematology and biochemistry reference values for the light horse
Can J Comp Med, 44 : 32.

LOVE S. ; 2003

Treatment and prevention of intestinal parasite-associated disease
Vet. Clin. Equine, 19, 791-806.

LORENZO-FIGUERAS M., MERRIT AM., 2002

Effects of exercise on gastric volume pH in the proximal portion of the stomach of horses
Am. J. Vet. Res., 63, 1481-1487.

MAIR T., DIVERS T.J., DUCHARME N. ; 2002

Manual of equine gastroenterology
W.B.Saunders Company, London, 540 p.

MANSMANN RA, CARLSON GP, WHITE NA, MILNE DW ; 1974

Synchronous diaphragmatic flutter in horses
J. Am. Vet. Med. Assoc., 165 (3), 265-270.

MARLIN D. ; 2008

Thermorégulation in the horse at rest and during exercise
In : SAASTAMOINEN M.T., MARTIN-ROSSET W., Nutrition of the exercising horse
EAAP publication No. 125, 71-82.

MARLIN, D. ; NANKERVIS, K.J. ; 2002

Equine exercise physiology
Oxford : Blackwell Science, 296

MARLIN DJ, SCOTT CM, MILLS PC, LOUWES H, VAARTEN J ; 1998

Rehydration following exercise : effects of administration of water versus an isotonic oral rehydration solution (ORS)
Vet. J., Vol 156 (1), 41-49 p.

McCUTHEON L.J., GEOR R.J. ; 2008

Thermoregulation and exercise-associated heat stress
In : HINCHCLIFF, K.W. ; GEOR, R.J. ; KANEPS, A.J., Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse
Saunders Elsevier, Edinburgh, 383-396.

McCUTHEON L.J., GEOR R.J. ; 1998

Sweating. Fluid and ion losses and replacement.

Vet. Clin. North Am. Eq. Pract., 14, 1, 75-95.

MACALLISTER CG, ANDREWS FM, HARDIN L et coll. ; 1996

The effects of orally administered omeprazole on healing of flunixin-induced gastric ulcers in young horses

Proc. Am. Coll. Vet. Int. Med. Forum, Lake Buean Vista, Florida, USA, 13, 1072 p.

McKEEVER K.H. ; 2008

Body Fluids and electrolytes : responses to exercise and training

In : HINCHCLIFF, K.W. ; GEOR, R.J. ; KANEPS, A.J., Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse

Saunders Elsevier, Edinburgh, 329-349.

McLEAY ; 2004

Diseases of musculoskeletal system.

In : Equine Internal Medicine. 2nd ed. SM Reed, Bayly WM, Sellon DC eds.

Saunders Cie, St Louis, 461-531

MERITT AM ; 2003

The equine stomach : a personal perspective (1963-2003).

Proceedings annual congress, New Orleans, Am Assoc Equine Pract, 49, 75-102.

MONOD H., FLANDROIS R., 1997

Physiologie du sport, IIème edition

Edition MASSON, Paris, 267 p.

MORIS DD, JOHNSTON JK ; 2002

Alterations in blood proteins

In : Large Animal Internal Medicine. Smith BP ed.

Mosby Cie, St Louis, 427-433.

MUNOZ A., RIBER C., SANTISTEBAN R., LUCAS R.G., CASTEJON F. M. ; 2002

Effect of training duration and exercise on blood-borne substrates, plasma lactate and enzyme concentrations in Andalusian, Anglo-arabian and Arabian breeds

In : Hinchcliff K.W., GEOR R.J. et PAGAN J.D. (eds): 6th international conference on equine exercise physiology.

Equine Veterinary Journal , Lexington, Suppl. 34, 245-251

MURRAY MJ. ; 1994 (1)

An equine model of inducing alimentary squamous epithelial ulceration

Dig. Dis. Sci., 12, 2530-2535.

MURRAY MJ. ; 1994 (2)

Gastric ulcers in adult horses

Compend. Contin. Educ. Pract. Vet., 16, 792-794.

MURRAY MJ, GRODINSKY C., ANDERSON CW et coll. ; 1989

Gastric ulcers in horses : a comparison of endoscopic findings in horses with and without clinical signs

Equine Vet. J. Suppl., 7, 68-72.

MURRAY MJ, SCHUSSER GF, PIPERS FS et coll. ; 1996

Factors associated with gastric lesions in Thoroughbred race horses

Eq. Vet. J., 28, 368-374.

NADEAU J., ANDREWS FM, MATHEW AG et coll ; 2000

Evaluation of diet as a cause of gastric ulcers in horses

Am. J. Vet. Res., 61, 784-790.

ORME C. E., HARRIS R. C. ; 1997

A comparison of the lipolytic and anticoagulative properties of heparin and pentosan polysulphate in the thoroughbred horse.

Acta physiologica scandinavica, vol 159, n°2, 179-185.

O'CONNOR CL., LAWRENCE LM., HAYES SH. ; 2007

Dietary fish oil supplementation affects serum fatty acid concentrations in horses.

J Anim Sci, 85 (9), 2183-2189.

PAGAN, J.D., ESSEN-GAISTAVSSON, B., LINDHOLM. A. et AL. ; 1987

The effect of dietary energy source on blood metabolites in Standardbred horses during exercise.

Proc Equine Nutr & Physiol Soc Symp, pp 425-430.

PILARDEAU ; 1995

Biochimie et nutrition des activités physiques et sportives 2

Parsi, Masson, 571 p.

POCOCK G., RICHARDS C.D. ; 1999

Physiologie humaine. Les fondements de la médecine

Masson, Paris, p 532.

POOLE D.C., ERICKSON H.H. ; 2008

Cardiovascular function and oxygen transport : responses to exercise and training

In : Hodgson D.R., Rose R.J. (eds) : Principles and practice of equine sports medicine. The athletic horse

Saunders, Philadelphia, 213-245.

PÖSÖ REETA A., HYYPPÄ S., GEOR R.J. ; 2008

Metabolic responses to exercise and training

In : HINCHCLIFF, K.W. ; GEOR, R.J. ; KANEPS, A.J., Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse

Saunders Elsevier, Edinburgh, 248-273.

R. POORTMANS J, BOISSEAU N. ; 2004

Biochimie des activités physiques, 2^{ème} édition

De Boeck Université, 488 p.

RAHMANI M. ; page consultée le 22 avril 2010

Méthode d'évaluation de la stabilité oxydative des lipides ; 2007 [en ligne]

Adresse URL : <http://www.technolabo.ma/TL2-3.pdf>

RENAULT A. ; page consultée le 4 août 2009

Muscle : anat et physio, [en ligne]

Adresse URL : <http://pagesperso-orange.fr/alain.renault/Manatphysio.html>

RESAFAD ; page consultée le 5 août 2009

Le mécanisme de la contraction musculaire, [en ligne]

In : Epreuve du Baccalauréat Série S, Sénégal, 1999

Adresse URL : <http://examen.sn/spip.php?article461>

RIVERO JL L., PIERCY R J. ; 2008

Muscle physiology : responses to exercise and training

In : HINCHCLIFF, K.W. ; GEOR, R.J. ; KANEPS, A.J., Equine exercise physiology. The science of exercise in the athletic horse

Saunders Elsevier, Edinburgh, 30-80.

ROSE R.J., ALLEN J.R. ; 1985

Hematologic response to exercise and training

Vet. Clin. N. Amer. Eq. Pract., 1, (3), 461-475.

ROSE R.J., HODGSON D.R. ; 1994

The athletic horse, principles and practice of equine sports medicine
W.B.Saunders company, Philadelphie, 495 p.

ROSE R.J., ILKIN E.J., SARNOLD K., BACKHOUSE J.W., SAMPSON D. ; 1980

Plasma biochemistry in the horse during 3 days event competition
Equine, Vet. J., 12, 132-136

ROY MA, DOUCET MY, VRINS A. ; 2003

Incidence of gastric ulcers in Standardbred horses at different levels of training over a period of 7 months

American College of Veterinary Internal Medicine Annual Meeting, Charlotte, NC, USA.

SCHUMACHER, J. ; KEMPPAINEN, R.J. ; 1998

Endocrinology

In : Mair T, Love S, Schumacher J, Watson E (eds). Equine medicine, surgery and reproduction. W.B. Saunders Company, London, 182-190

SILIART B., NGUYEN F. ; 2007

Le mémento biologique du vétérinaire
Point Vét. Ed., France, 318 p.

SNOW DH, KERR MG, NIMMO MA et coll. ; 1982

Alteration in blood, sweat, urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse.

Vet. Rec., 110-377

SNOW DH, RICKETTS SW, MASON DK ; 1983

Haematological response to racing and training exercise in thoroughbred horses with particular reference to leucocyte response

Equine Vet. J., 15, 149-154.

SOCIETE HIPPIQUE FRANCAISE ; 2008

Titre VII Epreuves d'aptitude au concours complet

In : Règlement général des épreuves d'élevage

Lavauzelle, Ed 2008, 224 p.

SOMMER H., AXT F., ROUX N., 1996

Contrôle de la santé et de l'apport nutritionnel chez le cheval à l'aide de certains paramètres du sérum sanguin

Prat Vét Equine, vol. 28, n°4, 279-284.

STEWART AJ, 2004

Magnesium disorders.

In : Equine Internal Medicine. 2nd ed. SM Reed, Bayly WM, Sellon DC eds.

Saunders Cie, St Louis, 1365-1379.

STOCKHAM SL ; 1995

Interpretation of equine serum biochemical profile results.

Vet. Clin. North Am. Equine Pract., 391-414.

TAMZALI Y. ; 2006

La contre-performance d'origine digestive chez le cheval

Nouv. Prat. Vét. Eq., 10,36-40.

THIENPONT B. ; 1989

Contribution à l'étude des déséquilibres hydro-électrolytiques et à leur correction thérapeutique chez le cheval. Etude bibliographique

Thèse de Doctorat Vétérinaire, Faculté de Médecine de Toulouse, 132 p.

THIRIEZ, P. ; 2002

Evaluation de la charge de travail du cheval d'attelage en compétition et à l'entraînement

Thèse de Doctorat Vétérinaire, faculté de médecine de Toulouse, 91 p.

TORIBIO RE, KOHN CW, CHEW DJ, et al. ; 2001

Comparison of serum parathyroid hormone and ionized calcium and magnesium concentrations and fractional urinary clearance of calcium and phosphorus in healthy horses and horses with enterocolitis

Am J Vet Res, 62, 938 p.

Twidyl®, Probiox® ; page consultée le 01/12/2009

Des bilans sanguins d'un type nouveau. Récupération, santé, performance. Leading the oxidative stress profiling.

Adresse URL : http://www.probiox.com/fr/html/documents/Folio-twydil_f.pdf

TYLER-McGOWAN C., GOLLAND L., EVANS D.L., HODGSON D.R., ROSE R.J. ; 1999

Haematological and biochemical responses to training and overtraining

In : Equine exercise physiology 5, Equine Veterinary Journal supplement 30, 621-625.

VALIERGUES J. ; 2003

Les grandes voies du métabolisme et leurs supports cytologiques

Lycée d'enseignement général et technologique agricole Louis Pasteur, Marmilhat – Lempdes, ? p.

VIREVIALLE H., MERLIN N. ; 2008

Gestion préventive de la pathologie équine

La dépêche vétérinaire, supplément technique, n°110, 11-16.

WHITE S.L. ; 1998

Fluid, electrolyte, and acid-base balances in three-day, combined-training horses

In : Fluids and electrolytes in athletic horses, Vet Clin North Am, Equine Pract., 14, 1, 137-145.

WOLTER R. ; 1999

Alimentation du cheval. 2ème édition

Editions France Agricole, Paris, 478 p.

WOLTER R. ;1991

Diététique du cheval athlète (première partie)

Pratique Vétérinaire Equine, 23, 3, 19-30

YOUNG L.E., MARLIN D.J., DEATON C., BROWN-FELTNER H., ROBERTS C.A., WOOD J.L.N. ; 2002

Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake

In : Hinchcliff K.W., GEOR R.J. et PAGAN J.D. (eds): 6th international conference on equine exercise physiology.

Equine Veterinary Journal , Lexington, Suppl. 34, 467-471.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Mouvements sur le plat Cycle Classique 4 ans, 2008

A exécuter sur un rectangle 50 m x 70 m minimum.

Reprise à effectuer en filet simple.

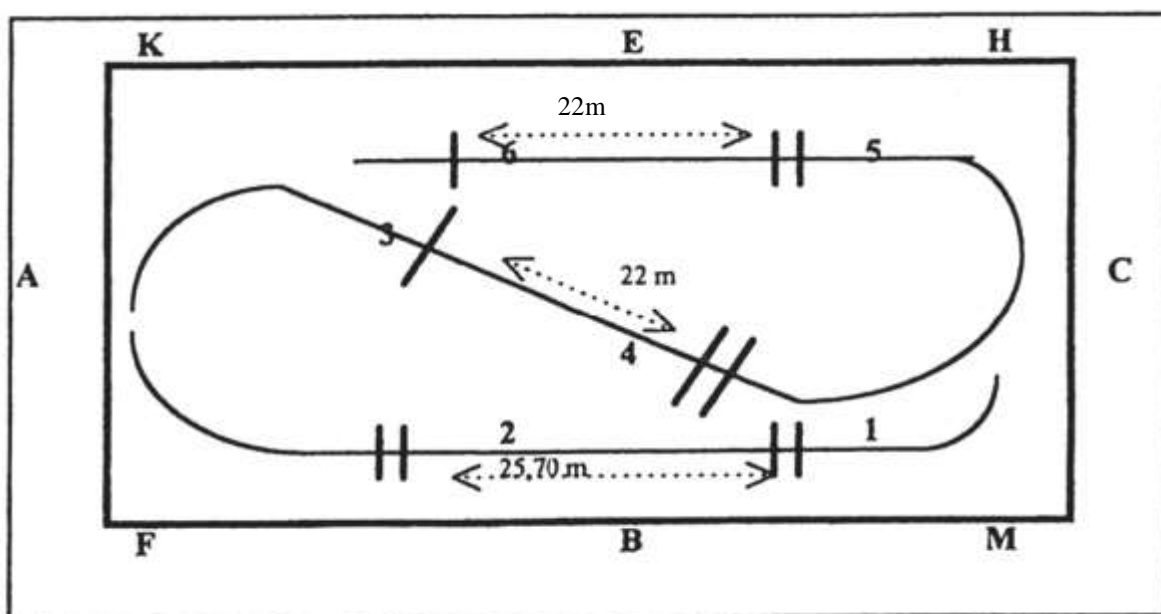
K	Entrée au trot Piste à main droite
Vers E	Sur le grand côté. Arrêt. Salut Rompre au trot
Vers C	Cercle de 25 mètres de diamètre
MK	Développement au trot allongé
Vers A	Cercle de 25 mètres de diamètre
Entre A et F	Départ au galop à gauche
Vers B	Cercle de 25 mètres de diamètre
HF	Développement au galop allongé
Vers F	Trot de travail
Entre A et K	Départ au galop à droite
Vers E	Cercle de 25 mètres de diamètre
Fin de la reprise	Après le parcours ou les mouvements sur le plat : sortie obligatoire au pas allongé rênes longues

Critères de jugement :

Les notes ne sont pas attribuées sur chaque figure mais de façon globale, sur l'ensemble de la présentation selon les huit critères ci-après:

Allures :	Pas	Régularité, amplitude, symétrie
	Trot	Régularité, amplitude, cadence, élasticité
	Galop	Equilibre, amplitude, propulsion, élasticité
Attitude :	Encolure soutenue, sans raideur, dans une position naturelle ; ouverte de l'angle tête encolure	
Impulsion :	Désir de se porter en avant, activités des hanches, souplesse du dos, rythme	
Soumission :	Calme, tension, fidélité à la main, harmonie, aisance	
Style à l'obstacle :	Franchise, équilibre, abords, style, rythme	
Equilibre naturel :	Dans les transitions, sur le plat, à l'obstacle, avant et après l'obstacle. Pénalités aux obstacles	

ANNEXE 2 :



Tracé du parcours d'obstacle du cycle classique 4 ans (d'après SHF ; 2008)

N° d'obstacle	Nature de l'obstacle	Cotes des obstacles (en cm)		
		Hauteur plan 1	Hauteur plan 2	Largeur
1	Oxer montant	80	90	90
2	Oxer montant	100	105	110
3	Droit appelé	110	-	-
4	Oxer montant	105	110	105
5	Oxer montant	100	110	115
6	Droit appelé	110	-	-

Nature et cotes des obstacles du cycle classique 4 ans (d'après SHF ; 2008)

ANNEXE 3 :

Normes techniques du saut d'obstacles, Epreuves d'élevage (d'après SHF ; 2008)

	CL 1 <i>Toute l'année</i>	5ans, 6 ans B, CL 2 <i>1^{ère} partie de saison</i>	6 ans A <i>1^{ère} partie de saison</i> 5ans, 6 ans B, CL 2 <i>2^{ème} partie de saison</i>	6 ans A <i>2^{ème} partie de saison</i>
PARCOURS				
Longueur du parcours.....	350 m à 450 m	350 m à 450 m	450 m à 550 m	450 m à 550 m
VITESSE				
Epreuves régionales 1 ^{ère} partie de saison.....	320 m / min	320 m / min	320 m / min	350 m / min
Epreuves régionales 2 ^{ème} partie de saison.....	350 m /min	350 m /min	350 m /min	350 m /min
OBSTACLES				
Nb d'obstacles.....	10 simples	10 simples	10 dont 1 double à 2 foulées	12 dont un double ou 11 dont 1 triple
Ht max verticaux.....	1m à 1m05	1m05	1m10	1m20
Ht max oxer montant.....	1m05	1m05	1m10	1m15
Largeur max oxer.....	1m20	1m30	1m40	1m50
Rivière toujours barrée largeur max....	2m	2m	2m50	2m50
Les cotes des obstacles à efforts multiples devront être inférieures de 5 cm aux cotes maximum				

Normes techniques de l'épreuve de fond, Epreuves d'élevage(d'après SHF ; 2008)

	4 ans <i>Toute l'année</i>	CL 1 <i>Toute l'année</i>	5ans, 6 ans B, CL 2 <i>1^{ère} partie de saison</i>	6 ans A <i>1^{ère} partie de saison</i> 5ans, 6 ans B, CL 2 <i>2^{ème} partie de saison</i>	6 ans A <i>2^{ème} partie de saison</i>
PARCOURS					
Longueur en mètres.....	1000 à 1200	2000 à 2200	2000 à 2200	2400 à 2600	2800 à 3200 Label SHF : 3000 à 3400
VITESSE					
Pour épreuves régionales et nationales.....	450 m/min	500m/min	500m/min	520 m/min	520 m/min
OBSTACLES					
Nb d'obstacles.....	10 à 12	10 à 12	12 à 14	12 à 16	14 à 18
Nb d'efforts max.....	14	15	17 18	22	28
Nb max d'obstacles à plusieurs éléments...	2	3	3 2	3	5
Nb max d'éléments pour ces obstacles.....	2	2	2 3	3	4
Ht max partie fixe.....	1m	1m	1m	1m05	1m10 à 1m15
Largeur max oxer et obstacles de volée					
- à la base.....	1m80	1m80	1m80	2m	2m40
- au point le plus haut.....	1m20	1m20	1m20	1m30	1m70
Largeur max des fossés.....	2m	2m50	2m50	3m	3m20
Contrebas limité à 2 n'excédant pas.....	1m20	1m20	1m20	1m40	1m60
Les cotes des obstacles à efforts multiples devront être inférieures de 10 cm aux cotes maximum					

ANNEXE 4 :

Normes techniques pour le saut d'obstacle, Epreuves Amateur/Pro (d'après FFE ; 2008)

EPREUVES	Am 4	Am3	Pro 3 Am 1 Am 2	Pro 2 Am Elite Am 1 GP	Am Elite GP Pro 1	Pro Elite	Pro Elite GP
Distance en mètres	400	350 à 450	350 à 450	450 à 550	450 à 550	450 à 550	450 à 550
Vitesse en m/min	350	350	350	350	375	375	375
Nb d'obstacles	8 à 10	10	10	10 à 12	10 à 12	10 à 12	10 à 12
Combinaisons	1 double à 2 foulées	2 doubles	2 dont 1 triple	2 dont 1 triple	2 dont 1 triple	2 dont 1 triple	2 dont 1 triple
Ht max en cm	90	100	105	110	120	125	130
Oxers largeur max en cm	100	110	120	130	140	140	150
Rivière ou fossé barré largeur max en cm	-	200 barré	200 barré	250 barré	250 barré	250 barré	300 barré

Normes techniques pour le cross, Epreuves Amateur/pro (d'après FFE ; 2008).

EPREUVES	Am 4	Am 3	Am 2	Am 1	Pro 3 Am 1 GP	Am Elite Am Elite GP Pro 2	Pro 1	Pro Elite	Pro Elite GP
Distance en mètres	1200 à 1400	2000 à 2200	2000 à 2200	2400 à 2600	2400 à 2600	3000 à 3400	3000 à 3400	3200 à 3400	3200 à 4200
Vitesse en m/min	450	480	500	500	520	520	550	550	550 à 575
Nb d'obstacles	9 à 11	10 à 12	12 à 14	12 à 16	12 à 16	14 à 18	14 à 18	16 à 20	18 à 24
Nb d'efforts maxi	16	15	20	26	26	30	30	32	36
Nb combinaisons maxi	3	3	3	4	4	libre	libre	libre	libre
Nb maxi d'éléments dans une combinaison	3	2	3	4	4	libre	libre	libre	libre
Ht maxi (cm)	90	100	100	105	105	110 à 115	110 à 115	115 à 120	120
Largeur maxi au point le plus haut (cm)	100	120	120	130	130	160	160	180	200
Largeur maxi au point le plus bas (cm)	150	180	180	200	200	240	240	260	300
Largeur maxi fossé (cm)	150	200	250	300	300	320	320	340	360
Contre bas (cm)	110	120	120	140	140	160	160	180	200
Ht maxi Haie (cm)	110	120	120	120	120	130	130	140	140

ANNEXE 5 : Reprise de dressage de CCI*/CIC* B, 2008



FEDERATION EQUESTRE INTERNATIONALE
CONCOURS COMPLET
Reprise de dressage 2005 – CCI une étoile (CCI* B)

E

 JUPITER de BROS
 Floriane FREYERMOUTH
 N° 15 FRANCE

 CCI*

Fig	MOUVEMENTS	IDEE DIRECTICES	REMARQUES	note
1	A C Entrer au trot de travail Piste à main gauche au trop de travail	La régularité, le rythme et la rectitude. L'incurvation et l'équilibre.		6
2	CHS SF FA Trot de travail Changer de main au trot moyen (assis ou enlevé) Trot de travail	La régularité et le rythme. L'équilibre et l'amplitude dans les foulées	Reprise - ne s'élève pas suffisamment. Jodeste	6
3	AV VR RC Trot de travail Changement de main Avant X transition au pas sur 3-5 foulées Trot de travail	La régularité des foulées, le rythme, l'équilibre et l'engagement pendant la transition		6
4	CHE E Trot de travail Demi-cercle à gauche de 10m jusqu'en X	La régularité des foulées, la précision, l'équilibre et la régularité de l'incurvation		7
5	X BP Demi-cercle à droite de 10m jusqu'en B Trot de travail	La régularité des foulées, la précision, l'équilibre et la régularité de l'incurvation, le changement d'incurvation en X	Je dépêche.	6
6	PF F D Trot de travail Doubler à droite Arrêt, immobilité	L'arrêt, l'immobilité (2 à 3 sec.) l'équilibre et l'engagement		6
7	D Reculer de 4 à 5 pas, rompre au pas moyen	L'équilibre et la régularité des foulées, le respect de la mise en main	De force.	2
8	K VR RM Piste à main droite Changement de main au pas libre, rênes longues Pas moyen	L'amplitude des foulées, la régularité et le changement d'attitude pendant le pas libre tout en maintenant le contact	Des résistances.	5
9	Pas moyen DKV et RM	La régularité des foulées, le rythme, l'attitude et le respect de la mise en main		6
10	M C Trot de travail Galop de travail à gauche	La transition au galop.		6
11	CE EB BR RMCH Galop de travail Demi cercle à gauche de 20m au galop moyen Galop moyen Galop de travail	L'équilibre, la régularité de l'incurvation, l'amplitude des foulées, les transitions		7
12	HXX Ligne courbe de 10m passant par X	La précision, l'équilibre et la régularité		7
13	KAF FXH Galop de travail Avant X, changement de pied avec transition au trot (5-6 foulées) et départ au galop	Le galop, les transitions	Resiste. Pourquoi elle + chef de les transitions	6

14	HCMB BE ES SHCM	Galop de travail Demi cercle à droite de 20m au galop moyen Galop moyen Galop de travail	L'équilibre, la régularité de l'incurvation, l'amplitude des foulées, les transitions		6
15	MXF	Ligne courbe de 10m passant par X	La précision, l'équilibre et la régularité		7
16	Avant A A	Trot de travail Doublé au trot de travail	La transition au trot La régularité et le rythme Rectitude sur la ligne du milieu		6
17	X	Arrêt, immobilité, salut	L'arrêt et l'immobilité pendant le salut		7
Quitter la piste en A					

Notes d'ensemble		Remarques	Note
18	Allures (franchise régularité)		6
19	Impulsion (désir de se porter en avant, élasticité des foulées, souplesse du dos et engagement de l'arrière main)		6
20	Soumission (attention et obéissance, légèreté et aisance des mouvements, soumission au mors)		6
21	Cavalier (position et assiette du cavalier, usage correct et efficacité des		7

TOTAL DES POINTS OBTENUS		
A DEDUIRE (points de pénalisation)		
TOTAL DEFINITIF		

NOTATION :

Pour chaque figure et chaque note d'ensemble : de 0 à 10

Total maximum des points par juge : **210 points.**

A déduire :

Pénalités pour erreurs ou omissions :

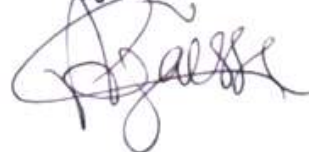
- 1re fois : 2 points,
- 2e fois : 4 points,
- 3e fois : Elimination,

Note 1 : Les trots de travail, moyen et allongés doivent être exécutés "assis" sauf si le terme "enlevé" est mentionné dans la reprise

Note 2 : Les éperons ne sont pas obligatoires dans les reprises C/C/CC. Dans les reprises "****" les éperons sont obligatoires

Note 3 : Dans les reprises " * monter en bride n'est pas autorisé. Dans les reprises "*/****" monter en bride est autorisé

Signature :



127

ANNEXES 6 :

Tableau des distance, vitesse, temps et efforts maximum en CCI (d'après FEI ; 2009)

CCI	1 étoile	2 étoiles	3 étoiles	4 étoiles
Distance	4160-4680m	4400-5500m	5700-6270 m	6270-6840 m
Vitesse	520 m/min	550 m/min	570 m/min	570 m/min
Temps	8-9 min	8-10 min	10-11 min	11-12 min
Efforts maxi	32	37	40	42-45
Autre choix :				
Distance	3640-4160 m	4400-4850 m	5130-5700 m	5700-6270 m
Temps	7-8 min	8-9 min	9-10 min	10-11 min
Efforts maxi	30	35	38	42-43

Caractéristiques des obstacles du cross des CCI et CIC (d'après FEI ; 2009)

CCI/CIC	1 étoile	2 étoiles	3 étoiles	4 étoiles
Hauteur				
<i>Fixe</i>	1.10 m	1.10m	1.15m	1.20m
<i>Haie</i>	1.30m	1.35m	1.40m	1.45m
Largeur				
<i>Point le plus haut</i>	1.40m	1.60m	1.80m	2.00m
<i>Point le plus bas</i>	2.10m	2.40m	2.70m	3.00m
<i>Sans la hauteur</i>	2.80m	3.20m	3.60m	4.00m
Contrebas	1.60m	1.80m	2.00m	2.00m

Normes techniques du saut d'obstacles des CCI (d'après FEI ; 2009)

CCI	1 étoile	2 étoiles	3 étoiles	4 étoiles
Distance	Max 600 m	Max 600 m	Max 600 m	Max 600 m
Vitesse	350 m/min	350 m/min	375 m/min	375 m/min
Nb obstacle	10-11	10-11	11-12	11-13
Efforts maxi	13	14	15	16
Hauteur max	1.15m	1.20m	1.25m	1.25m
Largeur max				
<i>Point le plus haut</i>	1.35m	1.40m	1.45m	1.45m
<i>Base (ou triple barre)</i>	1.55m	1.60m	1.65m	1.65m

Tableau des distance, vitesse, temps et efforts maximum en CIC (d'après FEI ; 2009)

CIC	1 étoile	2 étoiles	3 étoiles
Distance	2400-3200 m	2800-3600 m	3200-4000m
Vitesse	520 m/min	550 m/min	570 m/min
Temps	approx. 4.5-6 min	approx. 5-6.5 min	approx. 5-6.7 min
Efforts maxi	32	36	40

CHABIDON Claire

PROFIL SANGUIN DE CHEVAUX DE CONCOURS COMPLET : ETUDE DE TERRAIN SUR L'EFFET DE L'ALIMENTATION

A Lyon, le 3 décembre 2010

L'alimentation du cheval de CCE est un domaine qui préoccupe les cavaliers et les professionnels tout comme l'entraînement et le suivi médico-sportif. Peu de travaux ont été conduits jusqu'à présent sur ces chevaux qui pratiquent pourtant une discipline très atypique.

La première partie de ce travail présente la discipline puis regroupe les bases de la physiologie de l'effort et de la nutrition du cheval de sport, et plus particulièrement de CCE, ainsi qu'une approche du suivi médico-sportif. Dans un second temps, une étude de terrain est menée afin d'établir et d'observer d'éventuelles variations sur les profils sanguins biochimiques réalisés sur neuf chevaux de concours complet recevant sur deux périodes de trois mois des aliments concentrés différents.

Bien que d'autres travaux méritent d'être poursuivis dans cette voie, cette étude conclue sur deux points d'intérêt majeur : un taux de matières grasses de 12 % est intéressant et très bien toléré sur du court terme sans effet défavorable mis en évidence ; l'optimisation des apports protéiques et du rapport énergie/protéines (MADC/UFC = 65-70 g) est corrélée à une production d'urée moindre.

MOTS CLES :

- cheval
- concours complet
- alimentation
- biochimie
- paramètres sanguins

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Claude GHARIB

1er Assesseur : Madame le Docteur Agnès BENAMOU-SMITH

2ème Assesseur : Monsieur le Docteur Laurent ALVES DE OLIVEIRA

DATE DE SOUTENANCE :

Vendredi 3 décembre 2010

ADRESSE DE L'AUTEUR :

3 lotissement Bel Air
03330 BELLENAVES