

Année 2009

**EVOLUTION DE L'EQUILIBRE HYDRO-
ELECTROLITIQUE DU CHEVAL
D'ENDURANCE AU COURS DE L'EFFORT ET
DE L'ENTRAÎNEMENT.**

THESE

Pour le

DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

Présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTE DE MEDECINE DE CRETEIL

Le 17 décembre 2009

par

Laëtitia GREZY

Née le 28 juillet 1984 à Montfermeil (Seine-Saint-Denis)

JURY

Président : M.

Professeur à la Faculté de Médecine de CRETEIL

Membres

Directeur : Céline ROBERT

Maître de conférences à l'ENVA

Assesseur : Aude GIRAUDET

Ingénieur de recherche à l'ENVA

LISTE DES MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT

Directeur : M. le Professeur MIALOT Jean-Paul

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs MORAILLON Robert, PARODI André-Laurent, PILET Charles, TOMA Bernard

Professeurs honoraires: MM. BRUGERE Henri, BUSSIERAS Jean, CERF Olivier, CLERC Bernard, CRESPEAU François

LE BARS Henri, MOUTHON Gilbert, MILHAUD Guy, ROZIER Jacques,

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET PHARMACEUTIQUES (DSBP)

Chef du département : Mme COMBRISSON Hélène, Professeur - Adjoint : Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences

- UNITE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES Mme CREVIER-DENOIX Nathalie, Professeur M. DEGUEURCE Christophe, Professeur Mme ROBERT Céline, Maître de conférences M. CHATEAU Henry, Maître de conférences* - UNITE DE PATHOLOGIE GENERALE MICROBIOLOGIE, IMMUNOLOGIE Mme QUINTIN-COLONNA Françoise, Professeur* M. BOULOUIS Henri-Jean, Professeur M. FREYBURGER Ludovic, Maître de conférences - UNITE DE PHYSIOLOGIE ET THERAPEUTIQUE Mme COMBRISSON Hélène, Professeur* M. TIRET Laurent, Maître de conférences Mme STORCK-PILOT Fanny, Maître de conférences - UNITE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE Mme ENRIQUEZ Brigitte, Professeur M. TISSIER Renaud, Maître de conférences* M. PERROT Sébastien, Maître de conférences - DISCIPLINE : ETHOLOGIE M. DEPUTTE Bertrand, Professeur	-UNITE D'HISTOLOGIE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE M. FONTAINE Jean-Jacques, Professeur * Mme BERNEX Florence, Maître de conférences Mme CORDONNIER-LEFORT Nathalie, Maître de conférences M. REYES GOMEZ Edouard, Maître de conférences contractuel - UNITE DE VIROLOGIE M. ELOIT Marc, Professeur * Mme LE PODER Sophie, Maître de conférences - UNITE DE GENETIQUE MEDICALE ET MOLECULAIRE M. PANTHIER Jean-Jacques, Professeur Mme ABITBOL Marie, Maître de conférences* - UNITE DE BIOCHIMIE M. MICHAUX Jean-Michel, Maître de conférences* M. BELLIER Sylvain, Maître de conférences - DISCIPLINE : ANGLAIS Mme CONAN Muriel, Professeur certifié - DISCIPLINE : EDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE M. PHILIPS, Professeur certifié
--	---

DEPARTEMENT D'ELEVAGE ET DE PATHOLOGIE DES EQUIDES ET DES CARNIVORES (DEPEC)

Chef du département : M. POLACK Bruno, Maître de conférences - Adjoint : M. BLOT Stéphane, Professeur

- UNITE DE MEDECINE M. POUCHELON Jean-Louis, Professeur* Mme CHETBOUL Valérie, Professeur M. BLOT Stéphane, Professeur M. ROSENBERG Charles, Maître de conférences Mme MAUREY Christelle, Maître de conférences Mme BENCHEKROUN Ghita, Maître de conférences contractuel - UNITE DE CLINIQUE EQUINE M. DENOIX Jean-Marie, Professeur M. AUDIGIE Fabrice, Professeur* Mme GIRAUDET Aude, Praticien hospitalier Mlle CHRISTMANN Undine, Maître de conférences Mme MESPOULHES-RIVIERE Céline, Maître de conférences contractuel Mme PRADIER Sophie, Maître de conférences contractuel M. CARNICER David, Maître de conférences contractuel - UNITE DE REPRODUCTION ANIMALE Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, Professeur (rattachée au DPASP) M. NUDELMANN Nicolas, Maître de conférences M. FONTBONNE Alain, Maître de conférences* M. REMY Dominique, Maître de conférences (rattaché au DPASP) M. DESBOIS Christophe, Maître de conférences Mme CONSTANT Fabienne, Maître de conférences (rattachée au DPASP) Mme DEGUILLAUME Laure, Maître de conférences contractuel (rattachée au DPASP) - DISCIPLINE : URGENCE SOINS INTENSIFS Mme Françoise ROUX, Maître de conférences	- UNITE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE M. FAYOLLE Pascal, Professeur * M. MOISSONNIER Pierre, Professeur M. MAILHAC Jean-Marie, Maître de conférences M. NIEBAUER Gert, Professeur contractuel Mme VIATEAU-DUVAL Véronique, Maître de conférences Mme RAVARY-PLUMIOEN Bérangère, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. ZILBERSTEIN Luca, Maître de conférences M. JARDEL Nicolas, Praticien hospitalier - UNITE D'IMAGERIE MEDICALE Mme BEGON Dominique, Professeur* Mme STAMBOULI Fouzia, Praticien hospitalier - DISCIPLINE : OPHTALMOLOGIE Mme CHAHORY Sabine, Maître de conférences - UNITE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES M. CHERMETTE René, Professeur * M. POLACK Bruno, Maître de conférences M. GUILLOT Jacques, Professeur Mme MARIIGNAC Geneviève, Maître de conférences Mme HALOS Lénéig, Maître de conférences (rattachée au DPASP) M. HUBERT Blaise, Praticien hospitalier - UNITE DE MEDECINE DE L'ELEVAGE ET DU SPORT M. GRANDJEAN Dominique, Professeur * Mme YAGUIYAN-COLLIARD Laurence, Maître de conférences contractuel - DISCIPLINE : NUTRITION-ALIMENTATION M. PARAGON Bernard, Professeur
---	--

DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES ET DE LA SANTE PUBLIQUE (DPASP)

Chef du département : M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences - Adjoint : Mme DUFOUR Barbara, Professeur

- UNITE DES MALADIES CONTAGIEUSES M. BENET Jean-Jacques, Professeur* Mme HADDAD/ HOANG-XUAN Nadia, Professeur Mme DUFOUR Barbara, Professeur Melle PRAUD Anne, Maître de conférences contractuel - UNITE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE M. BOLNOT François, Maître de conférences * M. CARLIER Vincent, Professeur Mme COLMIN Catherine, Maître de conférences M. AUGUSTIN Jean-Christophe, Maître de conférences - DISCIPLINE : BIOSTATISTIQUES M. DESQUILBET Loïc, Maître de conférences contractuel	- UNITE DE ZOOTECHNIE, ECONOMIE RURALE M. COURREAU Jean-François, Professeur M. BOSSE Philippe, Professeur Mme GRIMARD-BALLIF Bénédicte, Professeur Mme LEROY Isabelle, Maître de conférences M. ARNE Pascal, Maître de conférences M. PONTER Andrew, Professeur* - UNITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR M. MILLEMANN Yves, Maître de conférences * Mme BRUGERE-PICOUX Jeanne, Professeur (rattachée au DSBP) M. MAILLARD Renaud, Maître de conférences M. ADJOU Karim, Maître de conférences M. BELBIS Guillaume, Maître de conférences contractuel
---	---

* Responsable de l'Unité

REMERCIEMENTS

Au Professeur

De la faculté de médecine de Créteil,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,
Hommage respectueux.

Au Dr. ROBERT Céline,

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Qui m'a guidée et conseillée dans l'élaboration de ce travail,
Merci pour votre aide, et votre grande disponibilité,
Sincère reconnaissance.

Au Dr. GIRAUDET Aude

Ingénieur de recherche à l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort,
Qui m'a fait l'honneur de bien vouloir participer à ce jury de thèse,
Sincères remerciements.

Aux Haras Nationaux,

Pour leur participation au projet de recherche.

Aux Cavaliers et Vétérinaires

Qui se sont occupés des chevaux de l'étude tout au long du protocole

A mes parents,

Merci de m'avoir toujours soutenue dans mes choix et d'avoir toujours été à mes côtés.

A mes grands pères,

Qui sont toujours dans mes pensées...

A Marie Christine,

Ma « maman » d'adoption parisienne !

A Tanit,

Merci pour ton soutien permanent et pour les stats !

A Julie et Laurie,

Pour toutes nos soirées de folie ou de déprime et celles à venir !

A Anne-Laure, Julie et Virginie,

Pour cette super année de T1 pro

A mes groupes de clinique,

Merci d'avoir supporté mon petit caractère corse ! et pour tous les bons moments qu'on a passés ensemble.

A Emmeline, Steph, Lena, Lucie,

Pour les soirées, les footings, les sorties théâtres...

A Marina et Melinda,

Mes amies de prépa sans qui je ne serais certainement jamais parvenue à surmonter ces deux années...et qui m'apportent toujours un petit grain de folie.

A Laure, Alix et Julie,

Mes colloqs successives sans qui la 506 aurait été moins animée !!

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	1
LISTE DES FIGURES.....	9
LISTE DES TABLEAUX.....	13
LISTE DES ANNEXES.....	15
INTRODUCTION.....	17
Première partie	19
Etude bibliographique de l'évolution de l'équilibre hydro-électrolytique du cheval d'endurance.....	19
I. Les pertes subies par l'organisme au cours de l'effort	19
A. La thermorégulation, un mécanisme indispensable lors de l'effort	19
1. Estimation de la production de chaleur lors d'un effort prolongé.....	19
2. Mise en jeu de la thermorégulation.....	20
3. Différents mécanismes	20
a) Radiation	20
b) Convection	20
c) Conduction	21
d) Evaporation	21
B. La sudation, un mécanisme de thermorégulation essentiel mais à l'origine de désordres hydro-électrolytiques.....	22
1. Production de la sueur	22
2. Composition de la sueur et variations observées à l'effort.	22
3. Facteurs de variation de la production de sueur au cours de l'effort.	23
4. Le cheval peut-il moduler lui-même sa production de sueur afin de diminuer les pertes en électrolytes ?	24
C. Les autres pertes subies par l'organisme au cours d'un effort	24
1. Les fecès.....	24
2. L'urine.....	24
II. Répercussion des pertes pendant l'effort sur les différents milieux de l'organisme	27
A. Les équilibres hydro-électrolytiques au repos.....	27
1. Les différents milieux de l'organisme.....	27
a) L'eau constituant majeur de l'organisme	27
b) Compartiment intracellulaire (CIC)	27

c) Compartiment extracellulaire (CEC)	27
2. Les ions et leurs répartitions dans l'organisme	28
a) Sodium	28
b) Potassium	29
c) Chlore	30
d) Calcium	31
e) Magnésium	32
B. Effet de l'exercice sur l'équilibre hydroélectrolytique	32
1. Les constats des différentes études	32
2. Quels sont les évènements qui se produisent au cours de l'effort expliquant de tels changements ?	39
a) Mouvements de fluides au début de l'exercice	39
b) Perte en eau et en électrolytes au cours d'un effort long	40
c) Détermination des pertes lors de l'exercice	41
III. Les mécanismes d'économie d'eau et d'électrolytes mis en œuvre lors de l'effort	43
A. La prise de boisson, un mécanisme de remplacement mis en péril lors de l'effort d'endurance	43
B. Adaptation de la fonction rénale lors de l'exercice	44
1. Effet de l'exercice sur le flux sanguin rénal	44
2. Effet de l'exercice sur la filtration glomérulaire et la fraction de filtration	44
a) Mécanisme de formation de l'urine	44
b) Le gradient de filtration rénal	46
3. Excrétion rénale lors de l'effort	46
C. Le tube digestif, un rôle de réservoir ?	50
IV. Les modifications apportées par l'entraînement sur l'équilibre hydro-électrolytique	53
A. L'entraînement modifie-t-il la composition de la sueur ?	53
B. Effet de l'entraînement sur le plasma	53
DEUXIEME PARTIE :	59
Etude expérimentale de l'évolution du statut hydro-électrolytique pendant l'entraînement et l'effort chez le cheval d'endurance	59
I. Matériel et méthodes	59
A. Effectifs	59
B. Alimentation	60
C. Programme d'entraînement	60

D. Programme détaillé des évaluations des chevaux	61
E. Déroulement des tests d'effort	61
F. Les courses	62
G. Mesures	64
1. Prélèvements urinaires :	64
2. Prélèvements sanguins	64
II. Résultats.....	65
A. Résultats obtenus en course.....	65
1. Bilan des courses	65
a) Groupe 1	65
i Première course	65
ii Deuxième course	65
b) Groupe 2	66
i Première course	66
ii Deuxième course	66
2. Résultats sanguins obtenus au cours des courses	67
a) Hématocrite	68
i Evolution pendant la course	69
ii Evolution par rapport aux valeurs de référence	69
iii Résultats statistiques	69
iv Bilan	69
b) Protéines totales.....	70
i Evolution pendant la course	71
ii Evolution par rapport aux valeurs de référence	71
iii Résultats statistiques	72
iv Bilan	72
c) Urée	73
d) Créatinine	74
i Evolution pendant la course	75
ii Evolution par rapport aux valeurs de référence	75
iii Résultats statistiques	76
iv Bilan	76
e) Sodium	77
i Evolution pendant la course	77

ii	Résultats statistiques	78
iii	Bilan	78
f)	Potassium	79
i	Evolution pendant la course	79
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	80
iii	Résultats statistiques	80
iv	Bilan	81
g)	Chlore	81
i	Evolution pendant la course	82
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	82
iii	Résultats statistiques	83
iv	Bilan	83
h)	Calcium	84
i	Evolution pendant la course	84
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	85
iii	Résultats statistiques	85
iv	Bilan	85
3.	Paramètres urinaires étudiés pendant la course	86
a)	Créatinine urinaire	87
i	Evolution pendant la course	87
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	88
iii	Résultats statistiques	89
iv	Bilan	89
b)	Sodium	89
i	Evolution pendant la course	90
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	91
iii	Résultats statistiques	91
iv	Bilan	91
c)	Potassium	92
i	Evolution pendant la course	92
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	93
iii	Résultats statistiques	93
iv	Bilan	93
d)	Chlore	94

i	Evolution pendant la course	94
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	95
iii	Résultats statistiques	95
iv	Bilan	95
e)	pH urinaire.....	96
i	Evolution pendant la course	96
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	97
iii	Résultats statistiques	97
iv	Bilan	97
f)	Densité urinaire	98
i	Evolution pendant la course	98
ii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	99
iii	Résultats statistiques	99
iv	Bilan	99
B.	L'effet de l'entraînement sur les paramètres sanguins et urinaires.....	100
1.	Les paramètres sanguins.....	101
a)	Hématocrite	101
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	102
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	102
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	102
iv	Résultats statistiques	102
v	Bilan	103
b)	Protéines totales.....	103
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	104
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	104
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	104
iv	Résultats statistiques	105
v	Bilan	105
c)	Urée	106
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	106
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	107
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	107
iv	Résultats statistiques	107
v	Bilan	107

d)	Créatinine	108
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	108
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	109
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	109
iv	Résultats statistiques	109
v	Bilan	109
e)	Sodium	110
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	110
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	111
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	111
iv	Résultats statistiques	111
v	Bilan	111
f)	Potassium	112
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	112
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	113
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	113
iv	Résultats statistiques	113
v	Bilan	114
g)	Chlore.....	114
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	115
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	115
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	115
iv	Résultats statistiques	116
v	Bilan	116
h)	Calcium	117
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	117
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	118
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	118
iv	Résultats statistiques	118
v	Bilan	118
2.	Paramètres urinaires	119
a)	Créatinine urinaire.....	119
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	120
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses.....	120

iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	120
iv	Résultats statistiques	121
v	Bilan	121
b)	Sodium	122
c)	Potassium	123
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	124
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses	124
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	124
iv	Résultats statistiques	125
v	Bilan	125
d)	Chlore	126
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	126
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses	127
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	127
iv	Résultats statistiques	127
v	Bilan	127
e)	pH urinaire.....	128
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	129
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses	129
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	129
iv	Résultats statistiques	130
v	Bilan	130
f)	Densité urinaire	130
i	Evolution au cours des périodes d'entraînement.....	131
ii	Evolution suite au transport sur le site des courses	131
iii	Evolution par rapport aux valeurs de référence	131
iv	Résultats statistiques	132
v	Bilan	132
III.	Discussion	135
A.	Limites du protocole.....	135
1.	Nombre de sujets.....	135
2.	Moment de prélèvement.....	135
3.	Durée d'acheminement	136
4.	Effet température.....	136

5. Effet transport.....	136
B. Interprétation des résultats	137
1. Modification du statut hydrique au cours des courses	137
2. Modifications en électrolytes pendant la course	137
a) La natrémie.....	137
b) La kaliémie	138
c) La chlorémie.....	138
d) La calcémie	138
3. Adaptation rénale à l'exercice.....	139
4. Les effets de l'entraînement	139
C. Perspectives.....	140
1. La supplémentation : une solution pour aider le cheval face aux pertes subies ?..	140
2. Pistes d'amélioration du protocole.....	141
CONCLUSION	143
BIBLIOGRAPHIE	145
ANNEXES	149

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition des liquides dans l'organisme	28
Figure 2 (d'après Rose, 1990) : Balance en sodium de l'organisme chez un cheval adulte	29
Figure 3 (d'après Rose, 1990) : Balance en potassium de l'organisme chez un cheval adulte	30
Figure 4 (d'après Rose, 1990) : Balance en chlore de l'organisme chez un cheval adulte (Standardbred)	31
Figure 5 : Mécanisme de filtration/réabsorption au niveau des capillaires à l'état d'équilibre (loi de Starling).....	40
Figure 6 (d'après Campbell, 1993) : Formation de l'urine au cours de son passage dans les différentes parties du néphron.	45
Figure 7 (d'après Campbell, 1993) : Régulation hormonale du rein	47
Figure 8 (d'après McKeever, 2008): Réponse rénale à un exercice de haute intensité (Cheval de course)	49
Figure 9 (d'après McKeever, 2008) : Mécanismes proposés pour l'hypervolémie induite par l'entraînement observée chez le cheval.....	55
Figure 10 : Protocole suivi pendant la saison 2008.....	60
Figure 11 : Evolution de l'hématocrite sur la première course	68
Figure 12 : Evolution de l'hématocrite sur la deuxième course.....	68
Figure 13: Evolution des protéines totales sur la première course.....	70
Figure 14: Evolution des protéines totales sur la deuxième course	71
Figure 15: Evolution de l'urémie sur la première course.....	73
Figure 16: Evolution de l'urémie sur la deuxième course	73
Figure 17: Evolution de la créatinémie sur la première course.....	74
Figure 18: Evolution de la créatinémie sur la deuxième course	75
Figure 19: Evolution de la natrémie sur la première course	77
Figure 20: Evolution de la natrémie sur la deuxième course	77
Figure 21: Evolution de la kaliémie sur la première course.....	79
Figure 22: Evolution de la kaliémie sur la deuxième course	79
Figure 23 : Evolution de la chlorémie sur la première course	81
Figure 24 : Evolution de la chlorémie sur la deuxième course	82
Figure 25 : Evolution de la calcémie sur la première course	84
Figure 26 : Evolution de la calcémie sur la deuxième course.....	84
Figure 27: Evolution de la créatinine urinaire sur la première course	87

Figure 28: Evolution de la créatinine urinaire sur la deuxième course.....	87
Figure 29 : Evolution de la clearance du sodium sur la première course.....	90
Figure 30 : Evolution de la clearance du sodium sur la deuxième course	90
Figure 31 : Evolution de la clearance du potassium sur la première course	92
Figure 32 : Evolution de la clearance du potassium sur la deuxième course.....	92
Figure 33 : Evolution de la clearance du chlore sur la première course	94
Figure 34 : Evolution de la clearance du chlore sur la deuxième course	94
Figure 35 : Evolution du pH urinaire sur la première course.....	96
Figure 36 : Evolution du pH urinaire sur la deuxième course	96
Figure 37 : Evolution de la densité urinaire sur la première course.....	98
Figure 38 : Evolution de la densité urinaire sur la deuxième course	98
Figure 39 : Evolution de l'hématocrite sur l'ensemble de la période d'entraînement pour chaque cheval	101
Figure 40 : Evolution de l'hématocrite sur la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole (valeur moyenne et écart type).....	101
Figure 41 : Evolution des protéines totales sur l'ensemble de la période d'entraînement pour chaque cheval	103
Figure 42 : Evolution des protéines totales sur la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole (valeur moyenne et écart type)	104
Figure 43 : Evolution de l'urémie sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	106
Figure 44 : Evolution de l'urémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole	106
Figure 45 : Evolution de la créatinémie sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	108
Figure 46 : Evolution de la créatinémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.....	108
Figure 47: Evolution de la natrémie sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	110
Figure 48 : Evolution de la natrémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.....	110
Figure 49 : Evolution de la kaliémie sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	112
Figure 50 : Evolution de la kaliémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.....	112
Figure 51 : Evolution de la chlorémie sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	114
Figure 52 : Evolution de la chlorémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.....	115

Figure 53 : Evolution de la calcémie sur l'ensemble de la période d'entraînement	117
Figure 54 : Evolution de la calcémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.....	117
Figure 55 : Evolution de la créatinine urinaire sur l'ensemble de la période d'entraînement	119
Figure 56 : Evolution de la créatinine urinaire au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.....	120
Figure 57 : Evolution de la clearance du sodium sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	122
Figure 58 : Evolution de la clearance du sodium au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole	122
Figure 59 : Evolution de la clearance du potassium sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	123
Figure 60 : Evolution de la clearance du potassium au cours de la période d'entraînement sur l'ensemble des chevaux du protocole.....	124
Figure 61 : Evolution de la clearance du chlore sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	126
Figure 62 : Evolution de la clearance du chlore au cours de la période d'entraînement sur l'ensemble des chevaux du protocole.....	126
Figure 63 : Evolution du pH urinaire sur l'ensemble de la période d'entraînement.....	128
Figure 64 : Evolution du pH urinaire au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.....	129
Figure 65 : Evolution de la densité urinaire sur l'ensemble de la période d'entraînement....	130
Figure 66 : Evolution de la densité urinaire au cours de la période d'entraînement sur l'ensemble des chevaux du protocole.....	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition de la sueur au cours de l'effort dans différentes études.....	23
Tableau 2 : Caractéristiques de l'urine mesurées sur 4 chevaux au repos et après l'effort (Snow <i>et al.</i> , 1982)	25
Tableau 3 : Caractéristiques de l'urine de chevaux ayant couru 48 ou 160 km (Carlson, 1983)	25
Tableau 4 (d'après Coenen, 2005) : Répartition des principaux ions dans les tissus	31
Tableau 5 : Valeurs de natrémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance.....	33
Tableau 6 : Valeurs de chlorémie et de kaliémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance	34
Tableau 7 : Valeurs de calcémie et l'albuminémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance	35
Tableau 8 : Valeurs protéinémie et d'hématocrite mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance	36
Tableau 9 : Valeurs d'urémie et de créatinémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance	37
Tableau 10 : Caractéristiques des chevaux participant au protocole	59
Tableau 11 : Calendrier des examens réalisés sur les chevaux du protocole PEPCE	61
Tableau 12: Descriptifs des courses du groupe 1	62
Tableau 13 : Descriptifs des courses du groupe 2.....	63
Tableau 14 : Performance des chevaux du groupe 1 sur leur première course.....	65
Tableau 15 : Performance des chevaux du groupe 2 sur leur première course.....	66
Tableau 16 : Performance des chevaux du groupe 2 sur leur deuxième course.....	66
Tableau 17 : Récapitulatif des groupes et des courses auxquels ont pris part les chevaux.....	67
Tableau 18 : Bilan de l'évolution de l'hématocrite pendant les courses.....	70
Tableau 19 : Bilan de l'évolution des protéines totales pendant les courses	72
Tableau 20 : Bilan de l'évolution de l'urémie pendant les courses	74
Tableau 21 : Bilan de l'évolution de la créatinémie pendant les courses	76
Tableau 22 : Bilan de l'évolution de la natrémie pendant les courses	78
Tableau 23 : Bilan de l'évolution de la kaliémie pendant les courses	81
Tableau 24 : Bilan de l'évolution de la chlorémie pendant les courses	83
Tableau 25 : Bilan de l'évolution de la calcémie pendant les courses	85

Tableau 26 : récapitulatif des évolutions des paramètres sanguins étudiés pendant l'effort. ..	86
Tableau 27 : Bilan de l'évolution de la créatinine urinaire pendant les courses.....	89
Tableau 28 : Bilan de l'évolution de la clearance du sodium pendant les courses	91
Tableau 29 : Bilan de l'évolution de la clearance du potassium pendant les courses.....	93
Tableau 30 : Bilan de l'évolution de la clearance du chlore pendant les courses.....	95
Tableau 31 : Bilan de l'évolution du pH urinaire pendant les courses	97
Tableau 32 : Bilan de l'évolution de la densité urinaire pendant les courses	99
Tableau 33 : Récapitulatif de l'évolution des paramètres urinaires obtenus pendant l'effort	100
Tableau 34 : Evolution de l'hématocrite au cours de l'entraînement.	103
Tableau 35 : Evolution des protéines totales au cours de l'entraînement.	105
Tableau 36 : Evolution de l'urémie au cours de l'entraînement.	107
Tableau 37 : Evolution de la créatinémie au cours de l'entraînement.	109
Tableau 38 : Evolution de la natrémie au cours de l'entraînement.	111
Tableau 39 : Evolution de la kaliémie au cours de l'entraînement.	114
Tableau 40 : Evolution de la chlorémie au cours de l'entraînement.	116
Tableau 41 : Evolution de la calcémie au cours de l'entraînement.....	118
Tableau 42 : Evolution des paramètres sanguins de l'ensemble des chevaux sur la période d'entraînement.....	119
Tableau 43 : Evolution de la créatinine urinaire au cours de l'entraînement.....	121
Tableau 44 : Evolution de la clearance du sodium au cours de l'entraînement.	123
Tableau 45 : Evolution de la clearance du potassium au cours de l'entraînement.....	125
Tableau 46 : Evolution de la clearance du chlore au cours de l'entraînement.....	128
Tableau 47 : Evolution du pH urinaire au cours de l'entraînement.	130
Tableau 48 : Evolution de la densité urinaire au cours de l'entraînement.	132
Tableau 49 : Evolution des paramètres urinaires au cours de l'entraînement.....	132
Tableau 50 : Récapitulatif des résultats obtenus au cours du protocole : en course, à l'entraînement et suite au transport.	133
Tableau 51 (D'après Kronfeld, 2001) : Exemple de deux formulations de suppléments en électrolytes	141

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés lors de la première course du groupe 1	149
Annexe 2 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés pour la première course du groupe 1	150
Annexe 3 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés sur la deuxième course du groupe 1	151
Annexe 4 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés sur la deuxième course du groupe 1	152
Annexe 5 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés au cours de la première course du groupe 2	153
Annexe 6 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés sur la première course du groupe 2 ..	154
Annexe 7 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés sur la deuxième course du groupe 2 .	155
Annexe 8 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés sur la deuxième course du groupe 2 .	156
Annexe 9 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés au cours de l'entraînement sur la saison 2008	157
Annexe 10 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés au cours de l'entraînement sur la saison 2008	161
Annexe 11 : Résultats de la comparaison par un test T student pairé, bilatéral des valeurs obtenues pendant la saison avec T0.	163
Annexe 12 : Résultats de la comparaison par un test T student pairé, bilatéral des valeurs obtenues pendant la saison avec L1 et L2.	163
Annexe 13 : Résultats de la comparaison par un test T student apparié, bilatéral des valeurs obtenues pendant la saison.....	164

INTRODUCTION

L'endurance équestre est un sport assez méconnu du grand public. Depuis quelques années, cette discipline a beaucoup évolué. Le nombre de partants ainsi que le nombre d'épreuves proposées ont augmenté de façon exponentielle.

Ce sport autrefois réservé aux adeptes de la randonnée et du tourisme équestre a su séduire un nouveau public composé de cavaliers de centre équestre. A l'inverse, des écuries spécialisées se sont développées, et avec elles, sont apparus des cavaliers professionnels. Les épreuves, de distance variable (20, 30, 60, 90, 120 et 160km), se courent en étapes toutes sanctionnées par un contrôle vétérinaire visant à déterminer si le cheval est capable de poursuivre la course sans risque. Le vétérinaire doit donc savoir détecter rapidement et à l'aide de peu de paramètres un cheval qui ne serait pas apte à continuer sa course sans mettre sa santé en danger.

Les chevaux d'endurance s'apparentent de plus en plus à des athlètes de haut niveau d'autant que les vitesses de course ont considérablement augmenté au détriment de la stratégie du cavalier. Le cheval doit maintenant être capable de courir jusqu'à 25km/h de moyenne pour les courses dans le désert alors qu'il y a dix ans, les courses se gagnaient à des vitesses moyennes de 15km/h.

Tout comme pour les chevaux de saut d'obstacle et de complet, les propriétaires souhaitent de plus en plus un suivi médico-sportif pour leurs chevaux. Cette discipline étant très différente d'un point de vue physiologique par rapport aux autres disciplines équestres, il est difficile d'appliquer les données issues des autres disciplines au cheval d'endurance. De plus, les dernières études portant sur le cheval d'endurance datent d'une dizaine d'années. Or la discipline ayant évolué depuis, les résultats obtenus ne sont peut être plus d'actualité. C'est pour cette raison, qu'avec le soutien des Haras Nationaux, un projet de recherche visant à faire un point sur la physiologie du cheval d'endurance a été initié. Ce travail s'intéresse notamment à l'évolution de l'équilibre hydro-électrolytique du cheval d'endurance à la fois pendant les courses mais aussi tout au long de l'entraînement. L'objectif est de mieux connaître les modifications au sein de l'organisme face à un tel effort afin de pouvoir résoudre d'éventuels problèmes voire de les anticiper. Dans une première partie, nous allons donc reprendre les différentes études disponibles sur la physiologie du cheval d'endurance à la fois en course mais aussi à l'entraînement. Nous établirons ainsi un bilan des connaissances actuelles dans cette discipline. Dans la seconde partie, nous présenterons les résultats obtenus pendant la saison 2008 sur huit chevaux d'endurance suivis pendant leur entraînement et leurs courses de 120km.

Première partie

Etude bibliographique de l'évolution de l'équilibre hydro-électrolytique du cheval d'endurance.

I. Les pertes subies par l'organisme au cours de l'effort

Au cours de l'effort, le métabolisme augmente afin de produire l'énergie nécessaire à la contraction musculaire. Il y a alors conversion d'énergie chimique en énergie mécanique. Ce mécanisme de conversion est cependant très peu efficace. En effet environ 80% de l'énergie est perdue sous forme de chaleur. Ainsi un cheval d'endurance pourrait subir une augmentation de sa température corporelle de plus de 15°C/h lors d'une course à 16km/h si un système de thermorégulation n'était pas efficace. (Mc Conaghy, 1994)

Dans un premier temps, nous reverrons les différentes possibilités de thermorégulation, puis nous nous attarderons sur la sudation qui est à l'origine de pertes d'électrolytes. Enfin nous aborderons les autres voies de pertes d'eau et d'électrolytes subies par l'organisme.

A. La thermorégulation, un mécanisme indispensable lors de l'effort

1. Estimation de la production de chaleur lors d'un effort prolongé

Il est possible d'obtenir par la formule suivante une estimation de la quantité de chaleur produite lors d'un exercice en se basant sur la consommation d'oxygène (VO_2) qui est un indicateur direct du métabolisme (Carlson, 1983 ; McConaghy, 1994).

$$\text{Chaleur métabolique} = \text{VO}_2 (\text{L/min}) \times k \times \text{durée de l'exercice (minutes)}$$

Avec k =quantité d'énergie produite par litre d'oxygène consommé soit 4,7 à 5,1 en fonction du substrat utilisé (la valeur la plus basse correspondant à l'oxydation des acides gras uniquement et la valeur la plus haute à celle des glucides).

La consommation d'oxygène augmente de façon linéaire avec la vitesse et l'intensité de l'effort (Carlson, 1983). Ainsi la chaleur produite dépend de la vitesse de la course, de l'intensité du travail mais aussi de la durée de l'effort. Un cheval d'endurance courant entre 14 et 18km/h consomme environ 25 litres d'oxygène par minute (soit 40% de la consommation maximale d'oxygène) et produit ainsi environ 100kcal/min. Cette production de chaleur correspondrait à une élévation de 0,25°C/min (soit 15°C/h) s'il n'y avait aucune dissipation. On observe d'ailleurs une augmentation de température du muscle de 1°C/min au début de l'exercice. En effet, au commencement de l'effort la production de chaleur au sein du muscle dépasse largement ses possibilités de dissipation. L'excès de chaleur est alors stocké ce qui entraîne une élévation de la température centrale jusqu'à un seuil qui déclenche les mécanismes de thermorégulation.

2. Mise en jeu de la thermorégulation

L'élévation de température corporelle est détectée par des thermorécepteurs qui transforment la variation de température en potentiel d'action. On retrouve des récepteurs périphériques au niveau de la peau, de la cavité buccale, des muscles squelettiques mais aussi au sein de l'endothélium vasculaire. L'information est ensuite transmise via des fibres nerveuses vers la racine dorsale de la moelle épinière puis vers l'hypothalamus. La zone préoptique de l'hypothalamus ayant été identifiée comme le centre thermorégulateur.

La perception par ce centre d'un décalage entre la température de référence ou set point et la température perçue par les thermorécepteurs déclenche les mécanismes de thermorégulation. Ainsi lorsque la température corporelle est supérieure à la température de référence, il y a activation des centres hypothalamiques et mise en route des mécanismes de thermolyse. C'est la situation que l'on retrouve lors de l'effort. (Brugère, 2006)

3. Différents mécanismes

Les mécanismes de thermolyse font appel à des échanges entre l'organisme et le milieu ambiant mais aussi au sein de l'organisme lui-même afin que la chaleur puisse être dissipée plus aisément.

Il existe quatre mécanismes de transfert de chaleur : la radiation, la convection, la conduction et l'évaporation.

Le maintien de l'homéothermie peut ainsi être représenté par l'équation suivante (McConaghy, 1994) :

$$\text{Production} = \text{Pertes}$$
$$M+W=R+C+K+E$$

Avec :

M= production de chaleur métabolique,

W= travail mécanique,

R= chaleur échangée par radiation,

C= chaleur échangée par convection,

K= chaleur échangée par conduction,

E= chaleur échangée par évaporation.

a) Radiation

La radiation correspond à l'élimination de chaleur due à l'émission d'un rayonnement électromagnétique voisin de l'infrarouge à la surface du corps sans contact direct avec une autre surface. Ainsi un individu isolé dans une pièce froide perd de la chaleur par rayonnement, et ce d'autant plus que la pièce est grande. Les pertes de chaleurs par ce mécanisme sont limitées lors d'exercice prolongé. (McConaghy, 1994)

b) Convection

La convection correspond à la perte de chaleur due au renouvellement des molécules d'air ambiant réchauffé au contact du corps. Les molécules d'air réchauffées par le corps vont s'élever car elles sont moins denses et laisseront place à de l'air plus froid. Cet échange de chaleur peut être forcé en cas de vent. Si la température ambiante est basse et qu'il y a du vent, les pertes de chaleur par convection peuvent être importantes.

Par contre, ce mécanisme peut être limité par l'emprisonnement de molécules d'air au contact de la peau par les phanères. Il est donc préférable de tondre les chevaux sportifs dès la pousse du poil en automne afin de permettre la dissipation de chaleur par convection lors de l'effort. (McConaghy, 1994)

c) Conduction

Elle correspond au transfert direct de chaleur entre deux surfaces en contact. La conduction dépend donc de la surface d'appui et de la conductivité thermique du milieu. Sur le cheval debout, les échanges se font entre la peau et l'air mais ce dernier est un très mauvais conducteur thermique. La conduction de la chaleur par la peau peut être augmentée si l'individu est étendu sur une surface froide ou humide.

Pendant l'exercice, la conduction au sein de l'organisme contribue à l'évacuation de la chaleur de manière directe entre le muscle et la peau et de manière indirecte via l'appareil circulatoire. (McConaghy, 1994)

d) Evaporation

L'évaporation est le mécanisme principalement utilisé par les homéothermes, comme le cheval, pour dissiper la chaleur (Rose, 1986 a). Trois processus physiologiques interviennent :

- évaporation de la sueur,
- évacuation de la chaleur au niveau de l'appareil respiratoire,
- perspiration insensible.

L'efficacité de l'évaporation par la sueur dépend de la différence de pression entre la surface du corps et l'environnement. En se basant sur la chaleur latente de vaporisation de l'eau, 598cal (2501 J) sont dissipées pour un gramme d'eau initialement à 0°C. Ainsi après avoir pris en compte les propriétés thermodynamiques de la sueur, l'évaporation d'un litre permet de dissiper environ 580kcal (2428kJ) (McCutcheon et Geor, 2008).

L'évaporation de l'eau au niveau du système respiratoire, bien qu'elle ne se soit pas prépondérante comme chez le chien, contribue de manière non négligeable à la perte de chaleur au cours de l'effort. Cette perte est fonction de la fréquence respiratoire et de l'humidité de l'air ambiant (McConaghy, 1994). Cependant contrairement à la sueur, ce mécanisme modifie uniquement l'équilibre acido-basique de l'animal et non pas son statut électrolytique.

La perspiration insensible correspond au passage de l'eau à travers la peau car celle-ci n'est pas imperméable. L'eau peut donc s'évaporer suivant le gradient de pression entre la peau et le milieu ambiant.

L'organisme dispose de plusieurs mécanismes afin de ne pas augmenter exagérément sa température corporelle. Cependant, au cours de l'effort la production de sueur est le mécanisme de thermorégulation prépondérant. Il est en effet beaucoup plus efficace que les autres mais il n'est pas sans répercussion sur les milieux liquidiens du corps.

B. La sudation, un mécanisme de thermorégulation essentiel mais à l'origine de désordres hydro-électrolytiques

1. Production de la sueur

La sueur est sécrétée par des glandes sudoripares apocrines (annexées au poil) chez le cheval. Ces nombreuses glandes exocrines ($500/\text{cm}^2$) sont réparties sur l'ensemble du corps et sont actives surtout au niveau des flancs, de l'encolure et du pli de l'aîne (Preveiraud, 2003). La portion sécrétrice, formée par un épithélium cubique simple entouré de cellules myo-épithéliales, siège dans le derme profond. Elle est reliée à l'extérieur par un canal excréteur formé par un épithélium cubique bistratifié. Contrairement à l'homme chez qui la résorption des électrolytes est importante au niveau de ce conduit, celui du cheval est court et les cellules qui le délimitent ont de petites mitochondries. Cette différence suggère une faible capacité de réabsorption active des électrolytes par ces glandes chez le cheval (McConaghy *et al.*, 1995 a).

Le déclenchement de la sudation est sous dépendance du système nerveux sympathique par l'intermédiaire des récepteurs β_2 adrénergiques lorsque l'animal se trouve dans un environnement chaud. (McConaghy *et al.*, 1995 b)

Lorsque la sudation est déclenchée par une augmentation de température corporelle du fait d'un exercice, elle fait suite à une activation du système nerveux sympathique mais aussi à la circulation d'épinephrine (Kerr et Snow, 1983). En effet l'effort augmente le tonus du système nerveux sympathique qui relargue des catécholamines et l'hormone corticotrope (ACTH). Cette libération de catécholamines augmente le débit cardiaque et déclenche la production de sueur.

D'autre part, la chaleur résultant de l'effort musculaire entraîne une dilatation des vaisseaux sanguins. Ainsi le retour veineux au niveau des extrémités passe par des veines superficielles. La température de la peau augmente alors ce qui facilite les pertes thermiques par les mécanismes de conduction et de convection lorsque la température ambiante est plus faible que la température de la peau. (Carlson, 1983) L'augmentation du flux sanguin dans le lit vasculaire de la peau permet de fournir la chaleur latente nécessaire à la vaporisation de la sueur et apporte le liquide permettant sa production. Le système circulatoire doit alors s'adapter à l'augmentation du flux sanguin en région cutanée et à l'augmentation des besoins pour le travail musculaire. Cela se traduit par une augmentation de la fréquence cardiaque ainsi qu'une diminution de l'apport vasculaire à la rate et au tissu adipeux. L'augmentation de la demande en oxygène en réponse à l'exercice entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque et une augmentation du flux sanguin dans les alvéoles ce qui permet une augmentation des pertes de chaleur par évaporation au niveau du système respiratoire. (McCutcheon et Geor, 2008)

2. Composition de la sueur et variations observées à l'effort.

La sueur du cheval est hypertonique par rapport au plasma contrairement à l'homme dont la sueur est isotonique en comparaison du plasma, avec dans la sueur $[\text{Na}^+] \approx 150 \text{ mmol/L}$, $[\text{K}^+] \approx 50 \text{ mmol/L}$, $[\text{Cl}^-] \approx 200 \text{ mmol/L}$ et dans le plasma $[\text{Na}^+] \approx 140 \text{ mmol/L}$, $[\text{K}^+] \approx 4 \text{ mmol/L}$, $[\text{Cl}^-] \approx 100 \text{ mmol/L}$. (McConaghy *et al.*, 1995 a)

La concentration en sodium est semblable ou légèrement supérieure à celle du plasma, celle du chlore est significativement plus élevée et celle en potassium est 10 à 20 fois supérieure à celle du plasma.

Plusieurs études se sont intéressées à la composition de la sueur du cheval et de sa variation au cours de l'effort. Le tableau 1 regroupe les données obtenues.

Tableau 1 : Composition de la sueur au cours de l'effort dans différentes études

Auteur	Année	Na mmol/L	K mmol/L	Cl mmol/L	Ca mmol/L	Mg mmol/L	Urée mmol/L	Protéine g/l
Coenen	2005	2,8g/l	1,4g/l	5,3g/l	0,12g/l	0,05g/l		
McConaghy <i>et al.</i>	1995 a	143,5+/-4,9	37,5+/-1,8	181,5+/-6,8	5,1+/-0,4	4,2+/-0,3	6,5+/-0,3	6,4+/-0,5
Rose <i>et al.</i>	1980	249+/-9	78+/-8	301+/-20				
McConaghy <i>et al.</i>	1995 b	159,4+/-5,8	39,6+/-1,5	194,9+/-5,8	4,0+/-0,4	3,3+/-0,2	7,4+/-0,3	4,8+/-0,4

Les variations observées sont en général liées aux différentes méthodes de récolte de la sueur (McCutcheon *et al.*, 1995), et également fonction de l'effort (intensité et durée) (Carlson, 1983). En effet, la récolte peut se faire directement sur l'individu en prélevant des échantillons de sueur libre (McCutcheon *et al.*, 1995), bien qu'une partie de l'eau contenue dans la sueur soit déjà évaporée, ce qui fausse les résultats. Soit la récolte se réalise par l'intermédiaire de systèmes capturant la sueur (compresses, poches de plastique...). (Rose et Paris, 1980 ; McConaghy *et al.*, 1995 a ; Mc Conaghy *et al.*, 1995 b)

Ces études montrent qu'au cours de l'effort on observe que :

- le potassium diminue ;
- le sodium chute puis ré-augmente lentement ;
- le chlore diminue puis demeure constant. ;
- le magnésium et la concentration en protéines diminuent également ;
- la concentration en urée quant à elle augmente tout au long de l'exercice parallèlement à l'augmentation de sa concentration plasmatique.

Ainsi le sodium, le chlore et le potassium contenus dans la sueur sont hypertoniques par rapport au plasma. (Kerr et Snow, 1983)

3. Facteurs de variation de la production de sueur au cours de l'effort.

Le cheval peut perdre jusqu'à 10-12L de sueur par heure au cours d'un exercice prolongé sous un climat chaud. Ainsi la sueur est la source de désordres électrolytiques qui sont dépendant de la distance, de la course, de la vitesse, de l'environnement, de l'humidité mais aussi du terrain. (Carlson, 1983)

Lorsque la course se déroule sous des températures fraîches, la chaleur peut être dissipée sans difficultés par les mécanismes de radiation, convection et conduction. Les pertes en électrolytes par la sueur sont alors minimales (Carlson, 1987).

Par contre, lorsque le climat est chaud, la transpiration devient le mécanisme prépondérant pour assurer la thermorégulation. Si la température est très élevée, la perte de chaleur par évaporation est insuffisante pour éliminer à la fois la chaleur produite par l'effort et l'augmentation de température due à l'environnement. Si à cela on ajoute une humidité importante, l'évaporation ne peut se faire correctement, ce qui se traduit par un transfert de chaleur faible voire impossible. (Carlson, 1987) Une telle situation présente des risques pour le cheval qui peut certes supporter une augmentation de sa température corporelle mais jusqu'à une certaine limite. (Carlson, 1983)

Ainsi en fonction de l'environnement, les pertes en eau et en électrolytes seront variables. Il a été montré que le cheval lors d'un exercice de 80km parcourus à la vitesse de 16 à 18km perdait $37 \pm 2,6$ L d'eau, $5,90 \pm 0,43$ moles de Na, $1,18 \pm 0,07$ moles de K et $6,11 \pm 0,42$ moles de Cl par la sueur. (Snow *et al.*, 1982). Ainsi la production d'un volume important de sueur hypertonique a des conséquences sur le volume de liquide extracellulaire et la quantité en électrolytes présentes dans l'organisme. Nous verrons ultérieurement les changements observés dans l'organisme en réponse à ces pertes.

4. Le cheval peut-il moduler lui-même sa production de sueur afin de diminuer les pertes en électrolytes ?

Les pertes par la sueur sont inévitables mais sont étroitement liées aux besoins de thermorégulation de l'organisme. Il a été montré que la sensibilité de la réponse en sudation diminuait avec l'augmentation de la température au niveau de l'artère pulmonaire. (Coenen, 2005) Ceci serait la conséquence d'une modification du flux sanguin vers les muscles au détriment de la peau. Cette réaction n'est malheureusement pas une adaptation de l'organisme afin de retenir l'eau et les électrolytes mais reflète l'incapacité à conserver une production de sueur permettant de répondre aux besoins de la thermorégulation. Même en situation de déficit en sodium, potassium ou chlore, les concentrations en électrolytes de la sueur demeurent inchangées. Ceci montre clairement que les glandes sudoripares ne peuvent pas s'adapter au statut électrolytique de l'animal (Coenen, 2005). L'organisme doit donc trouver d'autres solutions afin de maintenir un statut hydro-électrolytique convenable. Le cheval augmente ainsi l'absorption au niveau du réservoir intestinal, diminue les pertes rénales et libère des électrolytes contenus dans certains tissus. Ces différents mécanismes seront abordés par la suite.

C. Les autres pertes subies par l'organisme au cours d'un effort.

La sueur constitue une voie majeure de perte en eau et en électrolytes pendant l'effort, cependant l'émission d'urine et de fèces demeurent des voies d'excrétion non négligeables.

1. Les fèces

Les crottins d'un cheval sédentaire contiennent à l'état normal 75% d'eau et constituent ainsi la voie majeure de perte d'eau. Lors d'un exercice de longue durée, les fèces vont peu à peu se déshydrater en réponse à l'activation du système renine-angiotensine-aldostérone afin de limiter la perte de volume plasmatique (Lorenzo Figueras et Merritt, 2008). Ainsi, bien que limitées, des pertes en eau et en électrolytes sont toujours observées par cette voie.

2. L'urine

La production d'urine peut varier de moins de 5L/jour à plus de 15L/jour (Carlson, 1983). Le volume et la composition de celle-ci dépendent principalement de l'alimentation et de la supplémentation minérale.

L'urine du cheval est alcaline mais peut devenir acide lors d'un effort maximal et bref ou rester alcaline lors de l'effort d'endurance. (Carlson, 1983)

L'étude de Snow *et al.* (1982) s'est intéressée à la production et à la composition de l'urine pendant un effort d'endurance de 80km chez 4 chevaux. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques de l'urine mesurées sur 4 chevaux au repos et après l'effort (Snow *et al.*, 1982)

	Au repos	Pendant l'effort
pH	7,4+/-0,06	8,4+/-0,07
Production (mL/min)	4,52+/-0,30	6,30+/-0,76
Densité	1,038+/-0,001	1,030+/-0,002
Taux d'excrétion urée (mmol/min)	1,38+/-0,8	1,27+/-0,13
Tx exc créat (mmol/min)	106,7+/-4,9	91,4+/-3,0
Tx exc sodium (mmol/min)	0,191+/-0,081	0,335+/-0,168
Tx exc potassium (mmol/min)	1,72+/-0,12	1,69+/-0,12
Tx exc chlore (mmol/min)	1,43+/-0,13	0,51+/-0,12

Cette étude de Snow *et al.* (1982) ne montre pas de différence significative de la production d'urine entre le repos et l'effort. Le taux d'excrétion urinaire du sodium varie beaucoup que ce soit au repos ou pendant l'effort, les résultats ne permettent pas de savoir s'il y a une diminution consécutive à l'effort. L'excrétion du potassium reste constante ainsi que celle de l'urée. Cependant une diminution faible mais significative du taux d'excrétion urinaire de la créatinine est observée ainsi que pour le chlore.

Ces résultats peuvent être critiqués car l'urine a été collectée jusqu'à 150min après l'arrivée alors que les chevaux avaient déjà été réalimentés et désaltérés.

Carlson (1983) rapporte des données obtenues sur une course de 160km courue sous un climat chaud et les compare à des données obtenues sur une course de 48km. Ces dernières sont similaires à des chevaux au repos nourri au foin et ayant un accès au sel.

Tableau 3 : Caractéristiques de l'urine de chevaux ayant couru 48 ou 160 km (Carlson, 1983)

	48 km	160 km
Densité	1,021+/-0,005	1,0219+/-0,004
pH	8,4+/-0,5	7,3+/-0,9
Na (mmol/L)	58,3+/-25,2	14,5+/-14,6
K (mmol/L)	252,0+/-80,6	56,4+/-4,3
Cl (mmol/L)	41,0+/-47,3	4,3+/-4,0

Seules la densité et la concentration en Chlore ne montrent pas de différences significatives. Pour le chlore, les chevaux ayant parcouru 48km présentent des valeurs très variables, ce qui peut expliquer le manque de différence significative entre les 2 courses.

Cette diminution des concentrations en électrolytes dans l'urine alors que la densité reste inchangée suggère que lorsque les pertes par la sueur sont importantes, des mécanismes rénaux, que nous aborderons plus tard, se mettent en place afin de conserver les électrolytes.

Le cheval qui réalise un effort doit mettre en place les mécanismes de thermorégulation afin de limiter son augmentation de température corporelle consécutive à l'exercice musculaire. L'évaporation est le mécanisme auquel nous nous intéressons le plus car la sueur est un filtrat du plasma. Elle contient donc de l'eau et des électrolytes. La quantité produite par les glandes sudoripares varie en fonction des conditions climatiques mais les pertes auront toujours des répercussions sur l'équilibre hydro-électrolytique du cheval.

D'autres voies de pertes en eau et en électrolytes sont possibles. Les fèces en sont une mais elle est très peu modifiée par l'effort par rapport au repos. L'urine par contre est modifiée. En effet bien que la diminution de la quantité d'urine produite soit controversée, on observe une diminution de l'excrétion en électrolytes au cours de l'effort.

II. Répercussion des pertes pendant l'effort sur les différents milieux de l'organisme

Nous avons vu précédemment que l'organisme afin d'éliminer la chaleur produite en excès par l'effort musculaire déclenche des mécanismes de thermorégulation à l'origine de pertes en eau et en électrolytes. Nous allons à présent nous intéresser aux répercussions de ces pertes sur les différents milieux liquidiens de l'organisme. Après un bref rappel des différents composants de ces milieux, différentes études vont nous permettre d'aborder les modifications observées lors de l'effort d'endurance.

A. Les équilibres hydro-électrolytiques au repos

1. Les différents milieux de l'organisme

a) L'eau constituant majeur de l'organisme

L'eau est indispensable à la vie et l'organisme est en majeure partie composé d'eau et d'électrolytes. On estime la quantité d'eau corporelle à 50-70% du poids total de l'organisme. Ainsi un cheval de 500kg est en fait constitué de 250 à 300kg d'eau dont le turn over journalier est de 26 à 32 litres (Carlson, 1987). Toute cette eau doit se répartir au sein de l'organisme dans les cellules mais aussi à l'extérieur. Cette séparation est permise par les membranes cellulaires qui délimitent ainsi deux compartiments primaires : le compartiment intracellulaire et le compartiment extracellulaire. (Campbell, 1993)

b) Compartiment intracellulaire (CIC)

On estime que 2/3 de l'eau de l'organisme se trouve dans les cellules soit environ 200L pour un cheval de 500kg. (Carlson, 1983) Le volume n'est pas réparti de manière homogène, ainsi la masse musculaire retient la majeure partie de ces fluides intracellulaires.

c) Compartiment extracellulaire (CEC)

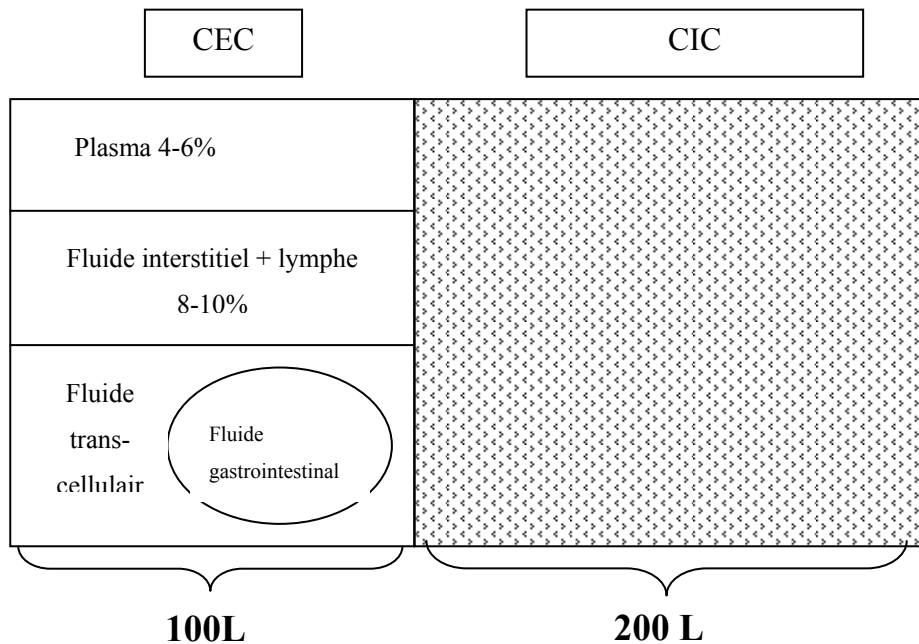
Les fluides extracellulaires se répartissent entre (Carlson, 1983) :

- le plasma (4 à 6% du poids vif du cheval (PV)),
- le liquide interstitiel et la lymphe (8-10% PV)
- et les liquides transcellulaires dont la majeure partie se trouve dans le tractus digestif (6-10% PV)

Pour un cheval de 500kg le volume extracellulaire correspond à 100L.

La compartimentation au sein de l'organisme peut être schématisée par la figure 1.

Figure 1 : Répartition des liquides dans l'organisme



2. Les ions et leurs répartitions dans l'organisme

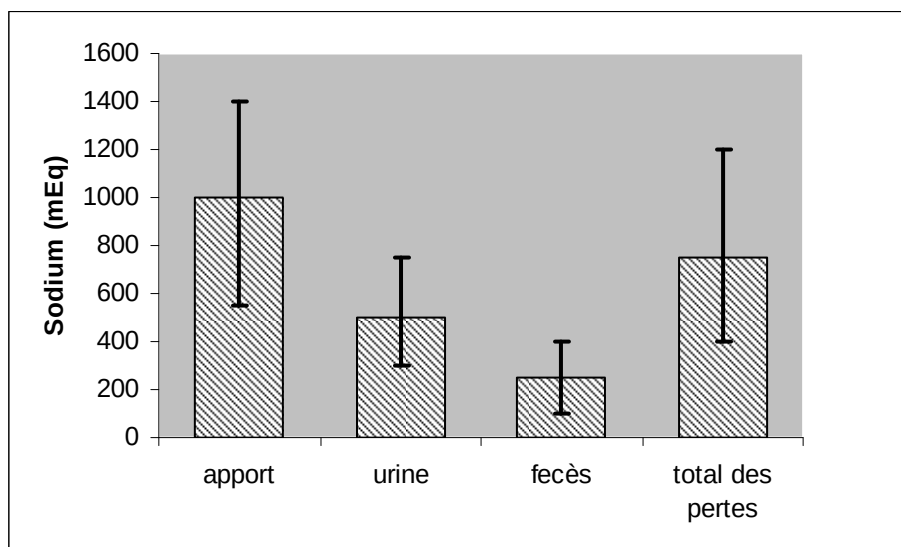
Les électrolytes sont essentiels pour les réactions enzymatiques, la conduction nerveuse, le maintien des potentiels de membrane, la contraction et la relaxation musculaire. (Carlson, 1987)

a) Sodium

Le sodium représente le cation le plus important dans le compartiment extracellulaire et permet la détermination de son volume. La concentration moyenne en sodium est de 138 à 140 mmol/L ce qui représente 14000mmol de sodium présent dans le compartiment extracellulaire d'un cheval de 500kg. (Rose, 1990) Bien que l'on retrouve beaucoup de sodium dans les os, le sodium disponible se trouve uniquement dans le CEC.

L'apport de sodium est étroitement relié à l'alimentation. Ses pertes, en particulier au niveau rénal, pourront être limitées afin de conserver un équilibre correct de sodium échangeable si l'apport n'est pas suffisant. La figure 2 représente la balance en sodium étudiée chez cinq chevaux de course sur une période de 14 jours (Groenendyk *et al.*, 1988).

Figure 2 (d'après Rose, 1990) : Balance en sodium de l'organisme chez un cheval adulte



La natrémie conditionne fortement la valeur de l'osmolarité. L'osmolarité correspond au nombre total de particules dissoutes en solution ; sa valeur avoisine les 290mOsm/L chez tous les mammifères (McKeever, 2008). L'osmolarité du plasma reflète l'osmolarité du compartiment extracellulaire et intracellulaire. Elle joue un rôle capital dans les échanges entre les milieux. En effet, l'eau se déplace entre les milieux suivant le gradient de concentration, allant d'un milieu peu concentré vers les milieux plus concentrés (Campbell, 1993). Un changement dans l'osmolarité plasmatique peut avoir des répercussions importantes sur le fonctionnement cellulaire. Ce changement reflète aussi une contraction ou une expansion du compartiment extracellulaire dont le fonctionnement cardiaque est dépendant. Le sodium étant l'ion majoritaire du compartiment extracellulaire, il conditionne fortement la valeur de l'osmolarité puisqu'il y est relié par la relation simplifiée suivante (Beltran, 1997 ; Wellman *et al.*, 2000) :

$$\text{Osmolarité (mOsm/kg)} = 2 \times [\text{Na}] + [\text{Glucose}] + [\text{Urée}]$$

Avec :

[Na]= Concentration plasmatique en sodium (mmol/L)

[Glucose] = Concentration plasmatique en glucose (mmol/L)

[Urée] = Concentration plasmatique en urée (mmol/L)

Dans les conditions normales, la contribution de l'urée et du glucose dans le calcul de l'osmolarité plasmatique est négligeable (Carlson, 1987). L'ion sodium intervient donc dans les transferts d'eau entre les compartiments intra et extracellulaire.

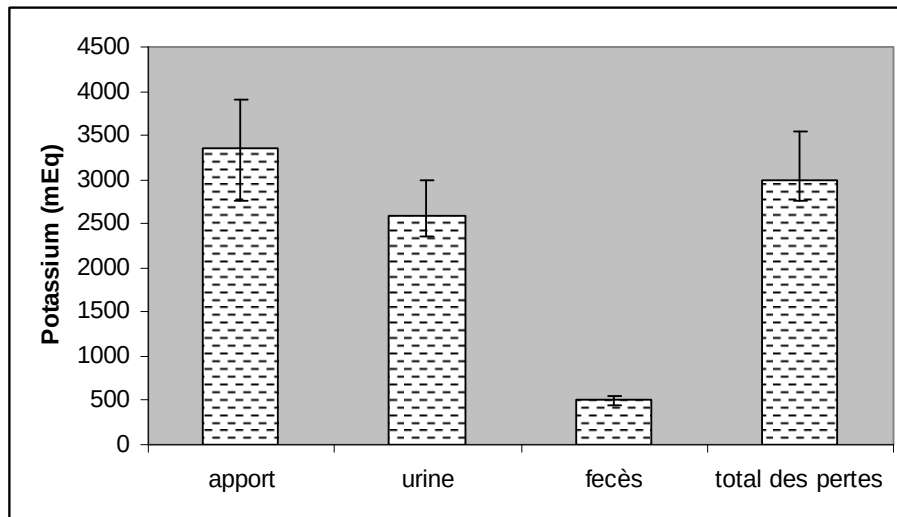
En situation d'hyponatrémie ($[\text{Na}] < 125 \text{ mmol/L}$), on observe une léthargie, une cécité centrale et des tremblements. (Brown et Bertone, 2002)

b) Potassium

Le potassium constitue le cation principal du compartiment intracellulaire, on retrouve seulement 1,5% du potassium total dans le compartiment extracellulaire (Rose, 1990). La mesure de sa concentration plasmatique ne nous donne donc pas une idée fiable du statut potassique de l'animal. Il serait donc intéressant de mesurer la teneur en potassium des globules rouges mais aucune étude n'a montré la corrélation entre cette concentration et la perte en potassium (Carlson, 1987). Il n'est donc pas simple d'avoir une idée fiable du statut potassique de l'organisme.

Le cheval étant un herbivore strict, son apport en potassium par l'alimentation est très élevé. De même son organisme s'est adapté à cet apport élevé en excréant beaucoup de potassium par l'urine (2/3) et par les fécès (Rose, 1990). Ainsi le rein n'est pas capable de conserver efficacement le potassium, ce qui peut poser problème si les apports ne sont pas suffisants. La figure 3 représente la balance en potassium étudiée chez cinq chevaux de course sur une période de 14 jours (Groenendyk *et al.*, 1988).

Figure 3 (d'après Rose, 1990) : Balance en potassium de l'organisme chez un cheval adulte



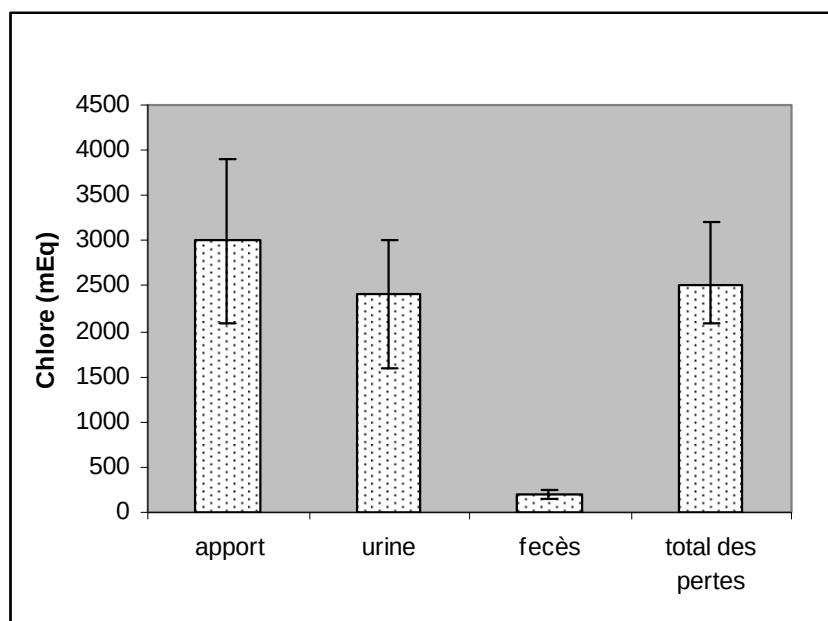
Bien que 95% du potassium corporel soit intracellulaire, la composante extracellulaire a une importance électrophysique majeure. En effet, les systèmes de transport actifs (pompes Na/K ATP dépendantes) provoquent une inégalité de répartition du potassium entre les compartiments intra et extracellulaire qui joue un rôle essentiel dans les phénomènes de polarisation membranaire et dans l'excitabilité des cellules. Toute variation du gradient transmembranaire a des conséquences physiologiques importantes pour l'activité des muscles squelettiques, lisses et cardiaques (Campbell, 1993).

Une hypokaliémie ($[K] < 2,8 \text{ mEq/L}$) se traduira par des problèmes neuromusculaires (faiblesse musculaire), des répercussions cardiaques (arythmie), un iléus. (Brown et Bertone, 2002)

c) Chlore

Le chlore constitue l'anion principal du compartiment extracellulaire. Sa concentration est très élevée dans la sueur (Rose, 1990). Dans le plasma, il joue un rôle important dans le maintien de l'osmolarité et de l'électroneutralité du milieu intérieur. Ainsi la chlorémie varie avec l'état d'hydratation de l'animal et l'équilibre acido-basique du plasma. (Carlson, 1983) Sa concentration dans le plasma est inversement corrélée à celle en bicarbonates (Rose, 1990). La figure 4 illustre les apports et les pertes en chlore chez cinq chevaux de course sur une période de 14 jours (Groenendyk *et al.*, 1988).

Figure 4 (d'après Rose, 1990) : Balance en chlore de l'organisme chez un cheval adulte (Standardbred)



En cas d'hypochlorémie ($[Cl] < 99 \text{ mEq/L}$), les symptômes observés sont proches de ceux observés en cas d'hyponatrémie. On peut également observer des répercussions sur le statut acido-basique de l'animal. (Brown et Bertone, 2002)

Le tableau 4 résume les localisations des 3 ions principaux de l'organisme.

Tableau 4 (d'après Coenen, 2005) : Répartition des principaux ions dans les tissus

	Sodium	Potassium	Chlore
Réservoir corporel mg/kg	1580	2090	1124
Répartition dans les différents tissus en %			
Muscle	10,8	75,1	19,9
Ingesta	12,4	4,5	14,1
Sang	10,8	2,4	15,5
Peau	8,5	2,6	15,1
Tissus du tube digestif	4,3	5,6	6,1
Autres organes	2,1	5	15,4
Squelette	51,1	4,7	13,9

d) Calcium

Le calcium, bien que principalement intracellulaire, est présent sous trois formes dans le plasma : ionisé, lié aux protéines et complexés aux acides faibles. La forme ionisée semble être la seule physiologiquement active (Lopez *et al.*, 2006). Il est aussi perdu par la sueur. Cet ion est indispensable au couplage excitation/contraction lors de l'effort musculaire. Il permet également le fonctionnement enzymatique, l'activité cardiaque et la formation des os. Il est principalement retrouvé dans le réticulum sarcoplasmique des cellules musculaires.

Sa valeur plasmatique reflète très mal son statut au sein de l'organisme puisque dans le sang environ la moitié du calcium est lié aux protéines. Elle sera ainsi corrélée à la protéinémie (Carlson, 1987).

En cas d'hypocalcémie ($[Ca] < 10 \text{ mg/dL}$), on observe une fatigue, un iléus, une tétanie voir même un flutter diaphragmatique. (Brown et Bertone, 2002)

e) *Magnésium*

Cet ion est, comme le calcium, principalement intracellulaire et constitue un cofacteur important de nombreuses réactions du métabolisme. Il est également présent sous 3 formes dont la forme ionisée est la plus active. (Lopez *et al.*, 2006).

Il participe à l'activité enzymatique, à la neurotransmission ainsi qu'à la contraction musculaire. Une hypomagnésémie ($[Mg] < 1,1 \text{ mg/dL}$) se traduira par des fibrillations musculaires, de la faiblesse, une tétanie et des arythmies. (Brown et Bertone, 2002)

La répartition des principaux électrolytes au sein du corps n'est pas anodine et est le garant d'un fonctionnement correct de l'organisme, en particulier de l'activité enzymatique et de la contraction musculaire. Toute modification de cette répartition est susceptible de modifier l'équilibre installé et d'engendrer des répercussions importantes.

B. Effet de l'exercice sur l'équilibre hydroélectrolytique

Nous avons vu précédemment que la thermorégulation était à l'origine de pertes importantes en électrolytes. Nous allons nous intéresser à présent aux répercussions que l'on peut observer sur les différents milieux suite à la perte d'eau et d'électrolytes par la sueur.

1. Les constats des différentes études

Les pertes subies par l'organisme dans la sueur devraient se répercuter sur le plasma étant donné que la sueur est produite à partir de celui-ci. Nous avons vu que la sueur était composée de chlore en grande quantité, mais aussi de potassium et de sodium et enfin, dans une moindre mesure, de calcium et magnésium. Il est donc à présent logique de se demander si ces diminutions sont visibles sur le plasma. Diverses études se sont intéressées à cette problématique et ont fourni les résultats suivants : (tableaux 5, 6, 7, 8 et 9.)

Tableau 5 : Valeurs de natrémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance

Auteurs	Année	long course	vitesse moy	Conditions climatiques	Nombre de chevaux	Na		
						Avant	Pendant	Après
Rose, Purdue et Hensley	1977	100km	14,2km/h	NC	26	134 +/- 2,8		140+/- 3,1*
Rose, Arnold, Church et Paris	1980	100km	NC	30°C	20 avec 10 à l'arrivée	138 +/-0,5	136,4+/-1,0	133,1+/-0,8*
Snow, Kerr, Nimmo et Abbott	1982	80 km	16 à 18km/h	Variables	4	140+/-0,8	141+/-0,9	147+/-1,9*
Rose, Hodgson, Sampson et Chan	1983	160km	11km/h	Froid	14	135	138*	125
Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan <i>et al.</i>	1991	100km	NC	NC	23	140	145*	143*
Lindinger et Ecker	1995	163km	14,7km/h	NC	12	139+/-0,4	139,5+/-0,9	141,8+/-1,2
Scott <i>et al.</i>	1997	77km	11km/h	beau temps, 11- 22°C	12	138,9+/-0,4	/	140,5+/-0,8
Scott <i>et al.</i>	1997	161km	9km/h	beau temps, 11- 22°C	7	139,7+/-0,5	137,4+/-0,7	136,4+/-0,9
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	48km	12,5km/h	beau temps, 22,8°C	25 (24)	145,5+/-2,6	145,6+/-2,2	142,6+/-4,8*
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	83km	15km/h	beau temps, 22,8°C	33 (25)	143,8+/-2,7	143,5+/-3,2	141,7+/-3,0
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	159km	15,7km/h	beau temps, 22,8°C	25 (18)	140,9+/-2,9	144,6+/- 2,9*	139,1+/-4,7
Scott <i>et al.</i>	2006	160km	15,2km/h	beau temps, 20°C	36 (22 à l'arrivée)	136,5+/-1,4	/	130,4+/-3,9*

NC : non communiqué

* : statistiquement significatif par rapport aux valeurs avant course

Tableau 6 : Valeurs de chlorémie et de kaliémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance

				K			Cl	
Délai / effort			Avant	Pendant	Après	Avant	Pendant	Après
Rose, Purdue et Hensley	1977	100km	3,5 +/-0,3		3,8+/-0,4*	96+/-3,1		89,5+/-4,7*
Rose, Arnold, Church et Paris	1980	100km	3,8+/-0,09	3,4+/-0,09*	2,6+/-0,12*	99,8+/-0,8	90,1+/-1,1*	83,6+/-1,6*
Snow, Kerr, Nimmo et Abbott	1982	80 km	3,2+/-0,2	4,6+/-0,2	3,5+/-0,2	99+/-1	95+/-1*	95+/-1*
Rose, Hodgson et Chan	1983	160km	3,5	4*	3*	100	100	100
Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan <i>et al.</i>	1991	100km	5,2	6	5,8	102	100	96*
Lindinger et Ecker	1995	163km	3,54+/-0,14	2,87+/-0,09*	3,28+/-0,12*	103,7+/-0,6	103,5+/-1,0	105,9+/-1,7
Scott <i>et al.</i>	1997	77km	3,9+/-0,2	/	3,1+/-0,1	98,7+/-0,8	/	94,4+/-1,2
Scott <i>et al.</i>	1997	161km	3,9+/-0,2	3,2+/-0,2	3,1+/-0,3	100,6+/-0,6	95,7+/-1,4	94,7+/-2,1
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	48km	4,0+/-0,5	3,5+/-0,4*	3,2+/-0,5*	112+/-2,2	110,8+/-2,0	108,5+/-3,0*
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	83km	4,1+/-0,4	3,4+/-0,3*	3,1+/-0,5*	111,2+/-1,8	108,4+/-2,8*	107,0+/-2,9*
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	159km	3,9+/-0,4	3,5+/-0,3*	3,3+/-0,3*	109,3+/-2,8	110,4+/-3,8	103,4+/-4,8*
Scott <i>et al.</i>	2006	160km	4,0+/-0,4	/	3,4+/-0,7*	97,4+/-1,7	/	89,2+/-4,9*

Tableau 7 : Valeurs de calcémie et l'albuminémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance

			Ca			Alb g/L		
			Avant	Pendant	Après	Avant	Pendant	Après
Rose, Purdue et Hensley	1977	100km	12,7+/-0,7		12,3+/-1,2	3.0+/-0,4		4,0+/-0,6*
Rose, Arnold, Church et Paris	1980	100km	/	/	/	/	/	/
Snow, Kerr, Nimmo et Abbott	1982	80 km	2,97+/-0,06	3,10+/-0,07	3,02+/-0,09	34+/-1	42+/-1*	44+/-1*
Rose, Hodgson et Chan	1983	160km	3	3	2,9*	36*	39*	37*
Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan <i>et al.</i>	1991	100km	2,9	2,8	2,6*	/	/	/
Lindinger et Ecker	1995	163km	1,80+/-0,03	1,62+/-0,03	1,53+/- 0,04*	/	/	/
Scott <i>et al.</i>	1997	77km	/	/	/	/	/	/
Scott <i>et al.</i>	1997	161km	/	/	/	/	/	/
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	48km	12,7+/-0,4 (mg/dL)	12,6+/-0,7	11,9+/-0,9*	/	/	/
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	83km	12,7+/-0,5 (mg/dL)	12,0+/-0,8*	11,8+/-1,0*	/	/	/
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	159km	12,1+/-0,4 (mg/dL)	11,7+/-0,8	10,5+/-1,1*	/	/	/
Scott <i>et al.</i>	2006	160km	3,24+/-0,11	/	3,10+/-0,13*	/	/	/

Tableau 8 : Valeurs protéinémie et d'hématocrite mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance

			PT g/L			Ht		
			Avant	Pendant	Après	Avant	Pendant	Après
Rose, Purdue et Hensley	1977	100km	6.0+/-0,7		7,6+/-1,0*	/	/	/
Rose, Arnold, Church et Paris	1980	100km	67,5+/-0,9	83,6+/-1,4*	79,7+/-2,6*	/	/	/
Snow, Kerr, Nimmo et Abbott	1982	80 km	68+/-1	77+/-1*	81+/-2*	38	55*	62*
Rose, Hodgson et Chan	1983	160km	70	74*	70	/	/	/
Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al.	1991	100km	68	65*	63*	40	51*	52*
Lindinger et Ecker	1995	163km	63,8+/-1,0	67,9+/-1,6*	69,3+/-1,8*	37,3+/-0,4	44,2+/-1,0*	43,9+/-1,0*
Scott et al.	1997	77km	68,5+/-1,1	/	73,6+/-1,6	38,3+/-0,6	/	42,6+/-1,1
Scott et al.	1997	161km	69,6+/-0,16	68,7+/-1,3	66,7+/-1,9	40,6+/-1,4	39,0+/-1,3	37,9+/-0,7
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	48km	62+/-4	65+/-4*	67+/-7*	35,4+/-5,1	41,5+/-5,4*	40,6+/-4,5*
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	83km	63+/-5	66+/-4*	67+/-5*	36,0+/-4,0	42,6+/-4,9*	40,2+/-5,6*
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	159km	61+/-1	63+/-5*	60+/-5*	36,4+/-5,5	43,4+/-3,3*	40,2+/-3,5*
Scott et al.	2006	160km	72,6+/-4,2	/	74,3+/-5,2	37,4+/-4,6	/	46,6+/-3,7*

Tableau 9 : Valeurs d'urémie et de créatinémie mesurées par différents auteurs avant, pendant et après une course d'endurance

			Urée			Creat		
			Avant	Pendant	Après	Avant	Pendant	Après
Rose, Purdue et Hensley	1977	100km	/	/	/	1,2+/-0,2		2,2+/-0,9*
Rose, Arnold, Church et Paris	1980	100km	/	/	/	/	/	/
Snow, Kerr, Nimmo et Abbott	1982	80 km	4,7+/-0,3	5,6+/-0,3*	7,6+/-0,4*	1,29+/-0,4	1,70+/-4*	1,7+/-0,4*
Rose, Hodgson et Chan	1983	160km	7	10*	12,5*	1	1,3*	1,25*
Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan et al.	1991	100km	/	/	/	/	/	/
Lindinger et Ecker	1995	163km	/	/	/	/	/	/
Scott et al.	1997	77km	/	/	/	/	/	/
Scott et al.	1997	161km	/	/	/	/	/	/
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	48km	/	/	/	/	/	/
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	83km	/	/	/	/	/	/
Barton, Williamson, Jacks et Norton	2003	159km	/	/	/	/	/	/
Scott et al.	2006	160km	/	/	/	/	/	/

Lorsque l'on analyse ces résultats, c'est leur variabilité qui apparaît en premier lieu. Ces différences sont certainement à relier aux variations de conditions climatiques. D'une manière générale sous des températures excédant les 20°C, on observe une diminution des concentrations plasmatiques en chlore et potassium et des changements variables de la natrémie. Il ne faut cependant pas oublier que la concentration plasmatique du sodium reflète plutôt l'équilibre hydrique que son propre équilibre (Carlson, 1987), ce qui en modifie l'interprétation. En ce qui concerne les autres électrolytes, la concentration plasmatique du calcium a tendance à diminuer alors que celle du magnésium reste stable.

La diminution en potassium plasmatique n'est pas très importante au contraire de ce que l'on aurait pu penser puisque la sueur formée à partir du plasma est 8 à 10 fois plus concentrée en potassium que ce dernier. Le compartiment intracellulaire permet d'éviter une chute trop importante de sa concentration plasmatique en libérant le K^+ vers le compartiment extracellulaire.

Bien que les pertes en calcium par la sueur affectent sa concentration plasmatique, les mécanismes semblent plus complexes. En effet dans l'étude de Rose *et al.* en 1983 qui s'est déroulée dans des conditions climatiques entraînant peu de production de sueur, on observe tout de même une diminution notable de la concentration plasmatique en calcium. On peut trouver une explication à cette diminution par le fait que lors de la contraction musculaire, le calcium doit se lier à la troponine pour permettre la fixation de l'actine avec la myosine (Rose *et al.*, 1983). Ainsi le calcium doit passer dans le milieu intracellulaire afin de permettre un travail musculaire efficace sur la durée, ce qui entraîne une diminution de la calcémie.

L'augmentation en hémocrite pendant la course peut être attribuée à deux facteurs : la contraction splénique qui se produit au début de l'effort grâce à l'activité du système sympathique et la diminution du volume plasmatique. (Kerr et Snow, 1982)

On peut observer une augmentation des protéines totales pendant la course qui s'explique par l'hémoconcentration qui se produit à cause de la déshydratation ou par des mouvements de fluides entre les compartiments intra et extracellulaire. Une étude (Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbann *et al.*, 1991) ne montre pas d'augmentation des protéines totales dans la deuxième partie de la course chez les chevaux ayant été qualifiés à la fin de la course, suggérant ainsi qu'ils seraient capables d'équilibrer leurs pertes hydriques.

Au repos, l'albumine est une protéine qui se retrouve principalement dans le compartiment vasculaire alors que la globuline se retrouve dans le système lymphatique (McKeever, 2008). Ainsi un changement du ratio albumine/globuline sanguin suggère un mouvement de protéines et de fluides de l'espace intracellulaire et de la lymphe vers le compartiment vasculaire. Malheureusement peu d'études fournissent ce ratio (Rose *et al.*, 1977), et on peut simplement observer une augmentation de l'albumine qui serait la conséquence d'une hémoconcentration.

L'augmentation observée des concentrations plasmatiques en urée et en créatinine suggère, elle aussi, une hémoconcentration (Rose *et al.*, 1983). Elle n'en constitue cependant pas la seule explication. En effet, leur concentration est influencée par des facteurs pré-rénaux mais aussi par le taux de filtration glomérulaire qui est diminué au profit des muscles lors de l'effort (Rose *et al.*, 1983). L'urémie serait probablement le reflet de l'augmentation du catabolisme protéique d'autant plus que le taux d'excrétion de l'urée par le rein ne diminue pas au cours de l'effort (Keer et Snow, 1982). Comme on n'observe pas de diminution de l'urée plasmatique après une nuit de repos, il a été suggéré que ces valeurs augmentées

seraient les résultats d'une augmentation de la gluconéogenèse et de la désamination des acides aminés (Rose, 1986 b).

Ces constats nous amènent à nous interroger sur ce qui se passe au sein de l'organisme au cours de l'effort. En effet, le corps va réagir aux contraintes imposées par l'exercice. Les modifications que l'on observe sur l'équilibre hydro-électrolytique ne sont que le reflet des différents mécanismes mis en place pour permettre l'exercice musculaire.

2. Quels sont les évènements qui se produisent au cours de l'effort expliquant de tels changements ?

De façon théorique, l'eau et les électrolytes peuvent se déplacer au sein des compartiments intracellulaire et extracellulaire mais aussi entre eux grâce à des mécanismes passifs, actifs ou facilités. Ces mouvements permettent au cheval de répondre à diverses situations comme par exemple la production de sueur et varient en fonction de la durée de l'exercice.

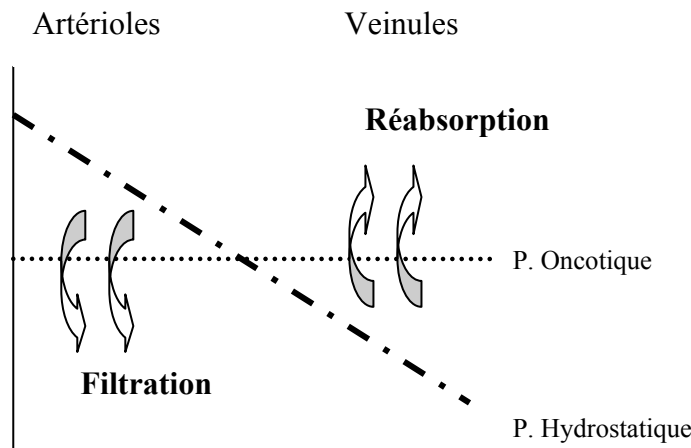
Au début de l'effort, les mouvements permettent la redistribution du sang et des fluides afin d'augmenter le retour veineux et le travail cardiaque. Si l'effort se poursuit, le cheval doit pouvoir apporter à la peau les fluides et les électrolytes nécessaires à la production de sueur. Si le cheval n'est pas alors en mesure de les fournir, on observe une déshydratation ainsi qu'une thermorégulation inefficace et des problèmes cardiaques qui conduisent à une fatigabilité et à une diminution de la performance. (McKeever, 2008)

a) Mouvements de fluides au début de l'exercice

Pendant l'effort, les muscles ont besoin d'un apport en oxygène et en nutriments plus élevé qu'au repos. Une vasodilatation se met en place afin de répondre à la demande. Il faut alors augmenter le volume plasmatique. Un apport de fluides provenant de l'espace intracellulaire est observé. La rate joue également un rôle majeur car elle constitue un réservoir important de sang riche en globules rouges (8 à 12L). Elle ajoute ainsi 1,6 à 3,6L de plasma au volume circulant. (McKeever, 2008)

Après cette première redistribution de l'eau et des électrolytes, le volume plasmatique diminue rapidement à cause d'une augmentation de la pression artérielle et de la pression hydrostatique dans les capillaires artériels. Ainsi la réabsorption des fluides au niveau des veinules diminue (McKeever, 2008). La figure 5 rappelle les mouvements de fluides au passage du réseau capillaire. La différence entre la pression hydrostatique et la pression oncotique dans les artérioles est responsable d'une entrée de fluides dans les cellules. Au passage des veinules, la pression hydrostatique diminue au point d'être inférieure à la pression oncotique. Cette inversion est responsable de la réabsorption des fluides dans les veinules.

Figure 5 : Mécanisme de filtration/réabsorption au niveau des capillaires à l'état d'équilibre (loi de Starling)



La diminution de la réabsorption des fluides observée pendant l'effort permet à l'eau et aux électrolytes d'être disponibles pour le travail musculaire, la production de sueur ou pour retourner dans le compartiment vasculaire par le système lymphatique. L'élimination des déchets du métabolisme et de l'excès de température est alors possible. Cette diminution du volume plasmatique est dépendante de l'intensité de l'exercice. (McKeever, 2008)

b) Perte en eau et en électrolytes au cours d'un effort long

Lors d'un effort plus long, les mécanismes de thermorégulation par évaporation de la sueur se mettent en place afin d'éliminer la chaleur produite. Cependant, cette capacité à maintenir une température corporelle vivable a des répercussions sur le système cardiovasculaire. (McKeever, 2008)

Le flux sanguin utilisé par les muscles va être redirigé vers la peau afin de transporter la chaleur du centre du corps vers la peau. La pression artérielle et le volume de remplissage du cœur sont alors altérés. La pression artérielle doit cependant rester dans des valeurs acceptables car le travail musculaire nécessite une perfusion optimale. Pour cela, certains territoires comme la rate ou le rein sont moins irrigués. (McKeever, 2008)

Les pertes en eau par la sueur ne sont pas remplacées immédiatement par la prise de boisson. Cependant le cheval possède un large réservoir de fluides dans son tube digestif en particulier dans le colon et le caecum. Ces réserves ne sont pas infinies et le cheval peut produire beaucoup de sueur au cours de l'effort ce qui peut compromettre son volume vasculaire. Les pertes en eau vont également entraîner une déshydratation cellulaire progressive. (McKeever, 2008)

c) Détermination des pertes lors de l'exercice

Le volume du compartiment extracellulaire peut être estimé grâce à une prise de sang qui permet de déterminer la concentration plasmatique en sodium. En effet la composition en électrolytes du plasma est semblable à celle des autres compartiments extracellulaires. Cependant l'eau peut circuler librement entre les CEC et CIC. Un cheval au repos et privé d'eau pendant 24h aura une concentration plasmatique en Na de 160mmol/L alors que son statut en sodium total reste pratiquement inchangé. Ainsi la mesure de la concentration plasmatique en sodium ne permet pas d'estimer l'équilibre en sodium de l'organisme, en revanche elle permet d'apprécier l'état d'hydratation extracellulaire de l'animal. De plus le sodium plasmatique est étroitement lié à l'eau mais aussi au potassium (Rose, 1990). Carlson (1983) a modélisé cette relation chez le cheval par la formule suivante :

$$[\text{Na}]_{\text{plasm}} \approx \frac{\text{Na échangeable} + \text{K échangeable}}{\text{Eau totale de l'organisme}} \text{ mmol/L}$$

On peut ainsi évaluer les pertes en électrolytes chez des chevaux qui ont des pertes en électrolytes et en eau. Cette situation est celle que l'on retrouve chez les chevaux d'endurance. L'exemple suivant va nous permettre d'illustrer l'utilité de cette formule.

Exemple (Rose,1990) :

Un cheval d'endurance de 7 ans est présenté le lendemain d'une course de 100km car il n'a pas bu de la nuit. L'examen clinique estime la déshydratation du cheval à 8%. La concentration plasmatique en sodium est de 140mmol/L. Le poids avant la course était de 400kg. On suppose que la concentration en sodium est restée inchangée avant et après la course.

$$\begin{aligned} \text{Perte en eau} &= \text{perte de poids} \times 0,9 \\ &= 32 \text{ kg} \times 0,9 \\ &= 28,8 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eau totale avant la course} &= 60\% \text{ du poids} = 240 \text{ L} \\ \text{Eau totale après la course} &= 240 - 29 = 211 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\text{Na}_{\text{plasm}} \times \text{Eau totale} = \text{Na échangeable (Na}_e) \times \text{K échangeable (K}_e)$$

$$\begin{aligned} \text{Na}_e \times \text{K}_e \text{ avant la course} &= 140 \times 240 \\ &= 33600 \text{ mEq} \\ \text{Na}_e \times \text{K}_e \text{ après la course} &= 140 \times 211 \\ &= 29540 \text{ mEq} \end{aligned}$$

Soit un déficit en Na +K = 4060mEq

Lors de déshydratation induite par la sueur lors d'un exercice d'endurance, on suppose que 70% des pertes en Na/K sont dues à la perte en Na.

Ainsi les pertes en Na sont de 2842mEq et en K de 1218mEq

On sait que tout le sodium échangeable se trouve dans le CEC et tout le potassium échangeable dans le CIC.

$$\begin{aligned}\text{Na après la course} &= 9800\text{mEq} (140 \times 1/3 \times 211) - 2842 \\ &= 6958\text{mEq}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CEC après la course} &= \text{Na après la course} / \text{Na}_{\text{plasm}} \\ &= 6958/140 \\ &= 49,7 \text{ L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CIC après la course} &= \text{Eau totale} - \text{CEC} \\ &= 161,3 \text{ L}\end{aligned}$$

Ainsi on a comme déficit :

- eau totale = 28,8 L
- CEC = 20 L
- CIC = 8,7 L
- Na = 2842 mEq
- K = 1218 mEq

Les pertes sont donc assez conséquentes pendant l'effort d'endurance. Cependant, elles seraient encore plus importantes si aucun mécanisme d'économie ne se mettait en place.

L'exercice entraîne des modifications de l'équilibre hydro-électrolytique du cheval. Au début de l'effort, il y a augmentation du volume plasmatique associé à une splenocontraction. Si l'exercice se poursuit, il y a alors une diminution du volume plasmatique. La majorité des concentrations plasmatiques en électrolytes (Cl, K, Ca) diminuent au cours de l'effort. Toutes ces modifications sont le reflet de mouvements de fluides au sein de l'organisme afin de répondre à l'augmentation du travail cardiaque et à la thermorégulation.

III. Les mécanismes d'économie d'eau et d'électrolytes mis en œuvre lors de l'effort

Le cheval perd de l'eau et des électrolytes au cours de l'effort d'endurance mais il essaye de limiter ces pertes ou tout du moins les compenser. Il tente ainsi de remplacer les quantités perdues en buvant. Mais, l'organisme réagit également en économisant les pertes notamment au niveau rénal.

A. La prise de boisson, un mécanisme de remplacement mis en péril lors de l'effort d'endurance

Il a été montré que le déclenchement de la soif et de la prise de boisson était dépendant de changements hormonaux. La soif peut être déclenchée par une augmentation des concentrations circulantes en arginine vasopressine (AVP) et d'angiotensine et par des changements de la concentration en calcium et d'autres électrolytes dans le liquide cérébrospinal. Ces systèmes sont modulés par des changements de l'osmolarité au niveau des noyaux paraventriculaire et supraoptique de l'hypothalamus. Ainsi, une légère augmentation de l'osmolarité plasmatique entraînera le relargage d'AVP par la glande pituitaire. Cependant il a été montré qu'un exercice de forte intensité peut paradoxalement supprimer la sensation de soif et le contrôle central de la prise de boisson chez l'Homme, le chien et le cheval. Il y aurait une suppression de la libération d'AVP qui, associée au barorécepteurs cardiopulmonaires, permettraient une adaptation des mouvements des fluides et la mobilisation de la réserve splénique. En effet, la vasopressine est un puissant vasoconstricteur. Elle permet le contrôle de la pression sanguine et empêche une re-séquestration de la réserve splénique. De plus, le passage d'une eau froide et hypotonique au niveau des nerfs de la bouche et de la gorge constituerait un message pour supprimer la soif pendant l'exercice. Ce serait un mécanisme de protection car il constituerait un comportement défensif pour éviter que l'animal pourchassé par un prédateur ne ressente le besoin de se désaltérer. Cette diminution de la prise de boisson est un problème souvent rapporté par les propriétaires et vétérinaires d'endurance et peut même persister jusqu'à plusieurs heures après l'arrêt de l'exercice. On pourrait contourner le problème en distribuant aux chevaux d'endurance de l'eau chaude additionnée d'électrolytes.

Dans la majorité des cas, le cheval est capable de compenser ses pertes en eau et en électrolytes suite à un exercice par l'accès à de l'eau, à une alimentation normale, à du sel et un supplément minéral. Cependant lors d'un effort se déroulant sous un climat chaud ou chaud et humide, les pertes sont plus importantes et le cheval peut avoir plus de mal à compenser. La quantité d'eau consommée par un cheval peut varier selon l'individu, l'alimentation, le climat et l'exercice. D'une manière générale il est recommandé d'apporter au cheval 2 à 4L d'eau par kilo d'aliment sec. Cet apport peut être augmenté de 15 à 20% si le cheval se trouve dans un environnement chaud et peut augmenter de 300% ou plus lors d'un exercice prolongé. (McKeever, 2008)

B. Adaptation de la fonction rénale lors de l'exercice

Même si la prise de boisson permet de compenser une partie des pertes, le rein va également mettre en place des mécanismes d'économie qui correspondent à des mécanismes de défense du volume sanguin, de la pression sanguine et de l'osmolarité. L'exercice affecte l'apport en eau et en électrolytes mais aussi le flux sanguin au niveau rénal. Il a été montré une diminution de l'excrétion urinaire en électrolytes lors de courses de 160km (Carlson, 1983). Cette diminution semble être associée à la durée de l'exercice.

1. Effet de l'exercice sur le flux sanguin rénal

Au cours de l'exercice, nous l'avons déjà vu, le travail cardiaque augmente. Le flux sanguin rénal diminuerait en fonction de ce travail. Ainsi il passe de 23% du flux cardiaque au repos à seulement 6 % pendant l'effort. De plus, une vasoconstriction au niveau du rein apparaît lorsque l'intensité du travail dépasse le seuil de 50-60% de la $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$. A cet instant, on peut également détecter une augmentation de l'activité nerveuse au niveau du rein, de la concentration en catécholamines circulantes et de l'activité de la rénine plasmatique.

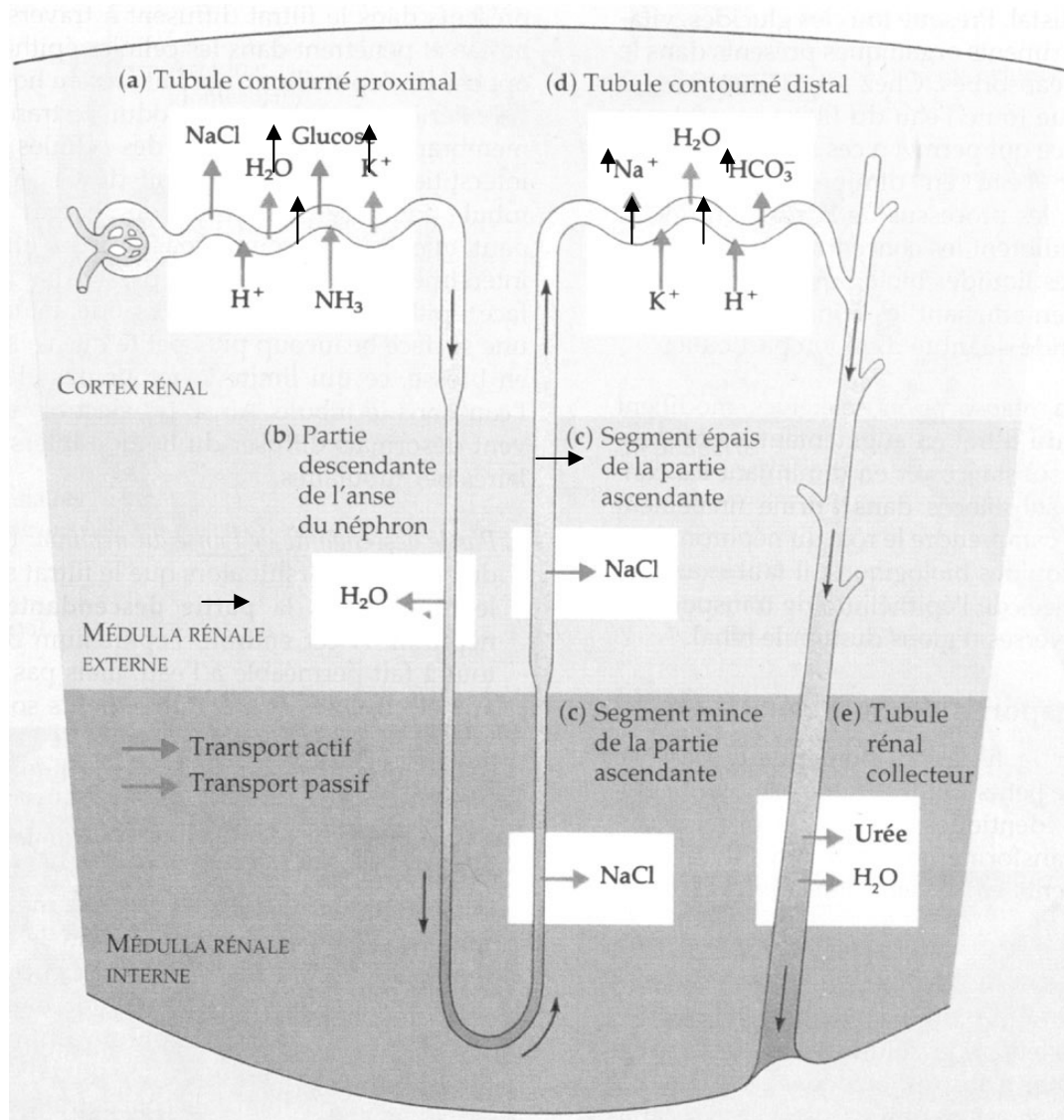
La réduction du flux sanguin rénal a pour conséquence une chute du taux de filtration glomérulaire accompagné d'une chute de production d'urine lors d'un effort de forte intensité. (McKeever, 2008)

2. Effet de l'exercice sur la filtration glomérulaire et la fraction de filtration

a) Mécanisme de formation de l'urine

Le sang, après avoir été filtré par les glomérules du rein, forme un filtrat qui possède des concentrations de petits solutés et une osmolarité globale essentiellement identiques à celles du plasma sanguin. Ce filtrat parcourt ensuite le tubule rénal où il subit différents traitements qui le transforment en urine (figure 6). En effet les différentes parties du tubule n'ont pas toutes les mêmes perméabilité de parois, ni le même environnement osmotique. (Campbell, 1993)

Figure 6 (d'après Campbell, 1993) : Formation de l'urine au cours de son passage dans les différentes parties du néphron.



Le tubule contourné proximal joue un rôle important dans l'homéostasie grâce à une régulation de la sécrétion et de la réabsorption de plusieurs substances comme les nutriments. Les électrolytes passent du filtrat au liquide interstitiel, l'eau suit ce mouvement passif par osmose.

La partie descendante de l'anse est perméable à l'eau mais pas aux électrolytes. Ainsi le filtrat perd de l'eau par osmose à mesure que la partie descendante pénètre dans la médulla rénale, ce qui entraîne une plus grande concentration de NaCl dans le filtrat.

La partie ascendante de l'anse est constituée d'un segment mince et d'un segment épais. Toute la partie ascendante est relativement imperméable à l'eau. Le segment mince est perméable au NaCl, et le sel qui s'est concentré dans le filtrat en passant dans la zone descendante diffuse maintenant vers l'extérieur en augmentant ainsi l'osmolarité interstitielle dans la médulla rénale interne. Le segment épais poursuit le transport du NaCl du filtrat vers le liquide interstitiel mais par transport actif du Cl⁻. Le Na⁺ réagissant à cette sortie de charges négatives en suivant le Cl⁻ passivement. Le filtrat, en perdant ainsi des ions sans perdre d'eau, se dilue progressivement à mesure qu'il remonte vers le cortex.

Le tubule contourné distal constitue une autre région importante de régulation de la sécrétion et de la réabsorption. Il permet de rééquilibrer le pH sanguin mais il joue aussi un rôle dans le maintien de l'homéostasie.

Enfin, le tubule rénal collecteur est perméable à l'eau mais pas aux électrolytes. Ainsi, à mesure que le tubule collecteur traverse le gradient d'osmolarité qui existe dans le liquide interstitiel, le filtrat perd de plus en plus d'eau par osmose au profit du liquide hypertonique à l'extérieur du tubule. La portion terminale est perméable à l'urée, et le transfert passif de ce soluté dans le liquide interstitiel contribue à la forte osmolarité de la médulla rénale.

b) Le gradient de filtration rénal

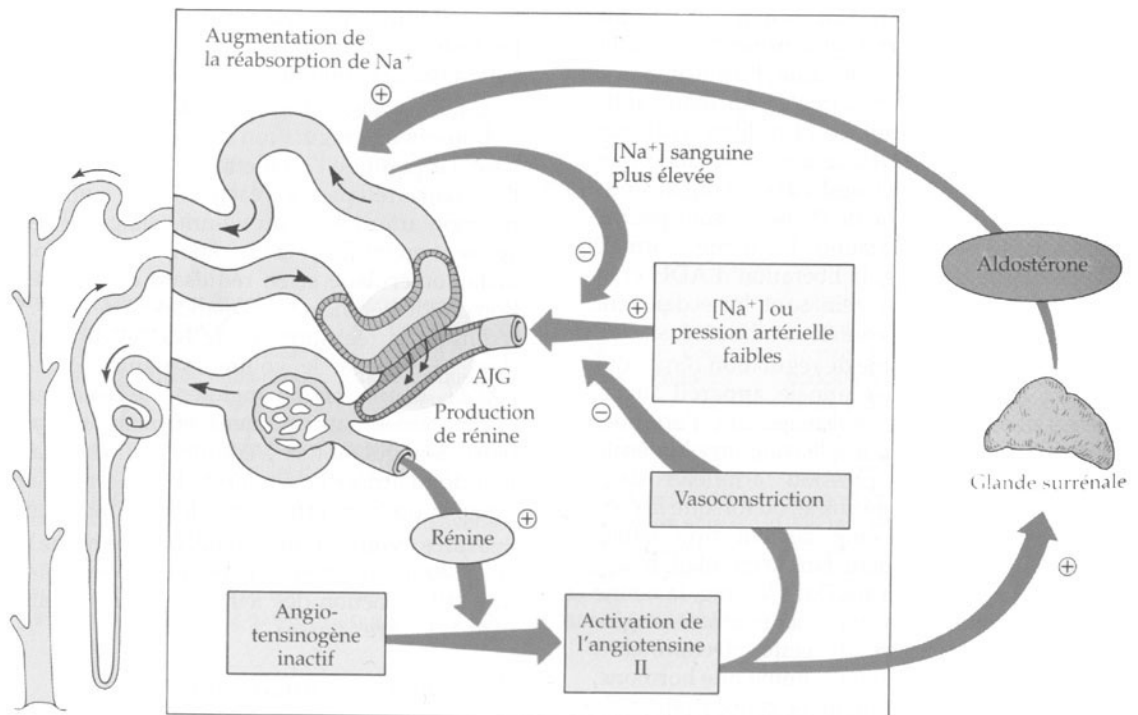
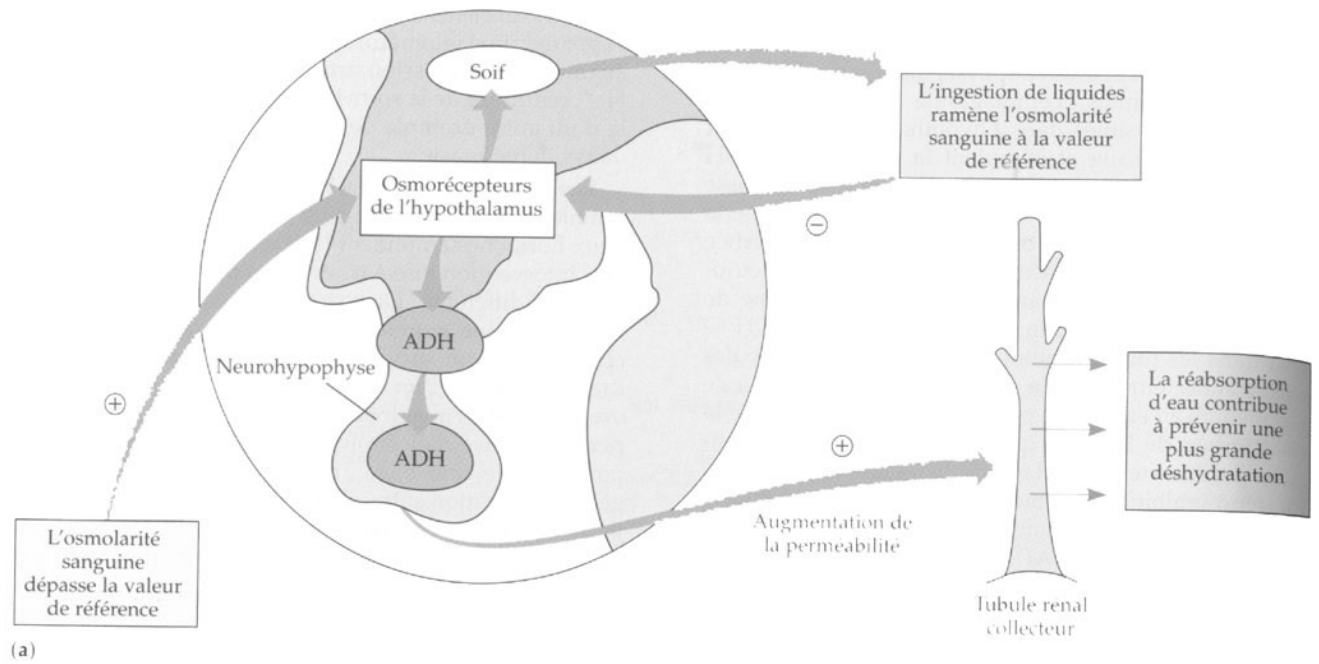
Le gradient de filtration correspond à la somme de l'action de tous les néphrons et est autorégulé en majeure partie par le flux sanguin rénal (Campbell, 1993). Cependant, ce gradient de filtration semble dépendre du statut d'hydratation et n'évolue pas forcément parallèlement au flux sanguin lors d'un effort submaximal. Chez les individus normo ou hypohydratés, les changements du gradient de filtration dépendent de l'intensité et de la durée de l'effort. Le gradient de filtration est protégé d'une diminution trop importante du flux sanguin consécutive à l'effort par une augmentation de la fraction de filtration (FF= gradient de filtration/ flux sanguin rénal). Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer cette augmentation (McKeever, 2008). Le maintien d'une pression hydrostatique au niveau du glomérule ainsi qu'une vasoconstriction au niveau de l'artériole efférente permettant une préservation du gradient de filtration peuvent contribuer à cette augmentation. Cependant, un changement dans le coefficient de perméabilité (Kf) des capillaires glomérulaires se produisant en même temps qu'une diminution de la pression hydrostatique des capillaires glomérulaires semble être l'hypothèse la plus probable. Le Kf est, en effet, modifié par des substances comme la vasopressine, les prostaglandines et l'angiotensine II qui sont augmentées lors de l'effort.

3. Excrétion rénale lors de l'effort

En simplifiant à l'extrême, le rein filtre le sang dans le glomérule puis tout au long du néphron, réabsorbe ou sécrète des substances (McKeever, 2008). C'est un organe d'osmorégulation d'une grande souplesse, dans lequel la réabsorption de l'eau et des électrolytes obéit à différents mécanismes de régulation nerveuse et hormonale. Ainsi, il est capable d'excréter un petit volume d'urine hypertonique en cas de déshydratation ou, au contraire, si l'organisme est hyperhydraté, de produire une grande quantité d'urine hypotonique ce qui permet d'éliminer beaucoup d'eau sans perdre d'électrolytes essentiels (Campbell, 1993). Lors de l'effort, l'organisme se trouve dans la première situation et doit

économiser l'eau et les électrolytes. La figure 7 revient sur l'action de l'appareil juxta glomérulaire et de l'hormone antidiurétique (ADH) lors d'une modification de l'osmolarité.

Figure 7 (d'après Campbell, 1993) : Régulation hormonale du rein

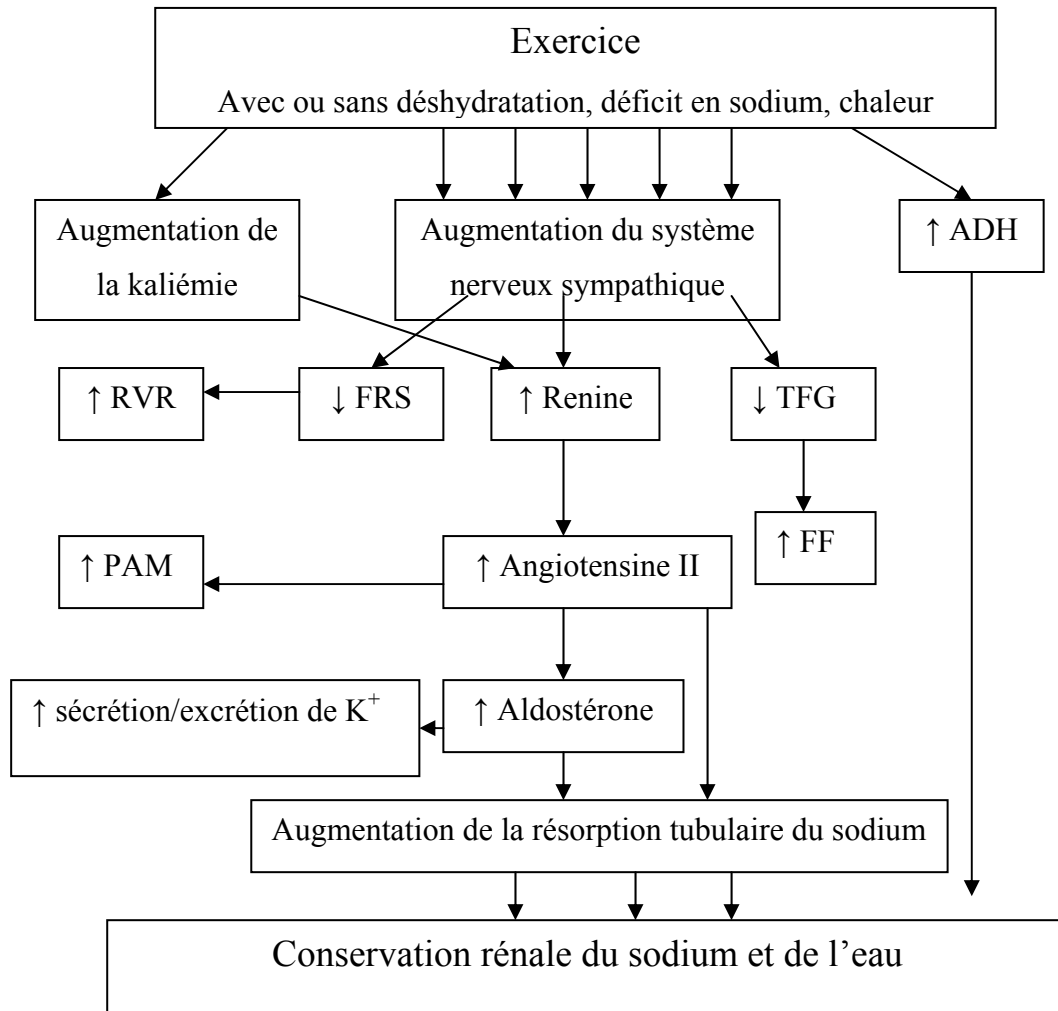


L'hormone anti-diurétique est une des hormones les plus importantes de l'osmorégulation. Elle est sécrétée par la neurohypophyse suite à un message des osmorécepteurs situés dans l'hypothalamus. Ainsi, l'augmentation de l'osmolarité suite à la transpiration déclenche la sécrétion d'ADH qui agit alors au niveau des tubules contournés distaux et des tubules collecteurs où elle augmente la perméabilité de l'épithélium à l'eau, ce qui amplifie la réabsorption d'eau.

L'appareil juxtaglomérulaire, situé au voisinage de l'artériole glomérulaire afférente qui apporte le sang au glomérule, est sensible à plusieurs stimuli : la chute de la concentration plasmatique en sodium ou bien la chute de la pression artérielle dans l'artériole glomérulaire afférente mais aussi à l'augmentation du tonus sympathique. Il y a alors production de rénine puis conversion de l'angiotensine II. Cette hormone agit directement sur l'artère en vasoconstrictant mais aussi sur les surrénales en stimulant la libération d'aldostérone. Cette dernière agit sur les tubules contournés distaux en augmentant la réabsorption de Na^+ et, comme l'eau suit par osmose, elle augmente également la pression artérielle et le volume sanguin. (Campbell, 1993)

Ainsi on peut résumer les actions au niveau du rein engendrées par un effort maximal (figure 8).

Figure 8 (d'après McKeever, 2008): Réponse rénale à un exercice de haute intensité (Cheval de course)



Légende

ADH : hormone anti-diurétique, FF : fraction de filtration, TGF : taux de filtration glomérulaire, FRS : flux sanguin rénal, RVR : résistance vasculaire rénale, PAM : pression artérielle moyenne.

Cependant il existe d'autres hormones, les atriopeptides natriurétiques (ANP) qui s'opposent à la régulation rénine-angiotensineII-aldostérone. La paroi de l'oreillette les libère en réponse à une augmentation de la pression artérielle (Pa) et du volume sanguin. Ainsi les ANP réduisent la réabsorption de Na^+ et diminuent la Pa et le volume sanguin.

Lors d'effort submaximal, il a été montré que la quantité d'urine augmentait. McKeever (2008) suggère que cette augmentation est due à une augmentation de la clearance (volume de plasma épuré d'une substance donnée par minute) osmotique causée par la natriurèse et la kaliurèse. Cette augmentation de l'excrétion en sodium et en potassium est due à une augmentation des atriopeptides natriurétiques. En effet, les ANP agiraient, au départ, afin de diminuer la résistance vasculaire dans les muscles sollicités par l'effort, en réponse à

l'augmentation de la pression atriale due à l'augmentation du retour veineux. Ainsi, l'augmentation de l'excrétion en sodium, au début de l'effort d'endurance, constituerait un « effet secondaire » de l'action vasculaire principale de cette hormone.

L'augmentation de la kaliurèse, quant à elle, serait due à une augmentation de la concentration plasmatique en aldostérone sécrétée en réponse de l'augmentation de la kaliémie. L'aldostérone protège ainsi l'organisme d'une augmentation excessive de la concentration plasmatique en K^+ responsable de la fatigue musculaire.

Au cours de l'effort, une diminution des pertes rénales en chlore est observée lorsque la chlorémie diminue. Cependant, comme il y a une augmentation des pertes en Na^+ et K^+ au début de l'exercice, un autre mécanisme reposant sur la sécrétion de HCO_3^- et la réabsorption du Cl^- par antiport doit être à l'origine de la conservation du chlore.

C. Le tube digestif, un rôle de réservoir ?

Comme nous l'avons vu précédemment, une partie du fluide extracellulaire se trouve dans le tube digestif. Ce dernier a été évoqué à plusieurs reprises comme pouvant servir de réservoir en eau et en métabolites. En effet, le tube digestif contient environ 13,1L d'eau pour un cheval de 400kg, 1500 mEq de Na^+ et 350mEq de K^+ (Coenen, 2005). Cependant le rôle précis du tractus digestif au cours de l'exercice n'est pas bien défini. De plus, sa teneur en eau est dépendante de l'alimentation mais est diminuée au cours de l'exercice (Coenen, 2005). Ainsi, l'apport de fourrage (du foin le plus souvent) pendant la course peut renforcer ce rôle de réservoir, même s'il n'est pas primordial. Pourtant, Kronfeld (2001) critique cette notion. En effet, en nourrissant le cheval avant la course, on lui apporte une charge supplémentaire. De plus, le cheval doit faire face à une augmentation de température corporelle à cause des fermentations en plus de l'augmentation de température consécutive au travail musculaire. Les pertes en eau par les fèces sont également augmentées. Kronfeld (2001) préconise plutôt une alimentation pauvre en protéine et riche en graisse avec des fibres lentement fermentescibles.

Le tube digestif peut donc contribuer à limiter les pertes mais pas de manière significative. L'action du rein, bien qu'insuffisante pour équilibrer la balance, est beaucoup plus efficace.

L'organisme va devoir compenser les modifications hydro-électrolytiques engendrées par l'effort. Pour cela il a trois possibilités :

- **Augmenter sa prise de boisson.**

Malheureusement, au cours de l'effort il arrive que les mécanismes hormonaux qui déclenchent la soif soient pris en défaut.

- **Limiter les pertes au niveau rénal.**

Bien que le flux sanguin rénal diminue au cours de l'effort, des mécanismes de protection se mettent en place afin de ne pas trop diminuer le gradient de filtration. Des mécanismes hormonaux (ADH) ainsi que l'appareil juxtaglomérulaire réagissent aux modifications hydro-électrolytiques consécutives à l'effort et permettent la réabsorption d'eau et de sodium au niveau du rein.

- Augmenter les réabsorptions au niveau digestif.

Ce rôle reste controversé mais on accorde tout de même au tube digestif un rôle de réservoir.

Le cheval parvient grâce à ces solutions dans la majorité des cas à parcourir sans dommage les kilomètres d'une course d'endurance.

IV. Les modifications apportées par l'entraînement sur l'équilibre hydro-électrolytique

A présent que nous avons vu les modifications entraînées par la course sur l'équilibre hydro-électrolytique, on peut s'interroger sur les effets de l'entraînement. En effet, on peut émettre l'hypothèse que l'entraînement est à l'origine d'adaptations qui pourront être utiles par la suite pour la réalisation de l'effort et pour limiter la fatigue. Peu d'études se sont intéressées à cette problématique, sans doute du fait de la durée nécessaire mais aussi de la difficulté à standardiser l'entraînement.

A. L'entraînement modifie-t-il la composition de la sueur ?

McConaghy *et al.* (1995 a) ont cherché à montrer si l'entraînement induisait comme chez l'homme des changements dans la composition de la sueur. La sueur de l'homme est un ultrafiltrat d'un fluide semblable au plasma. Le long du conduit de la glande, le NaCl est réabsorbé, ce qui conduit à la formation d'une sueur hypotonique. Cette réabsorption est rendue possible par un transport actif du Na^+ . Chez l'Homme, on constate une diminution de la concentration en Na^+ et Cl^- dans la sueur en réponse à des périodes de transpiration répétées, afin de préserver les concentrations en électrolytes plasmatiques.

Chez le cheval, la composition de la sueur montre une diminution de sa concentration en sodium et en chlore entre la semaine 5 et la semaine 10 d'entraînement. On n'observe cependant pas de différence dans la composition de la sueur collectée pendant l'effort avant le début du protocole et après les 10 semaines d'entraînement. Ainsi, la concentration en électrolytes de la sueur du cheval produite pendant un effort de faible intensité n'est pas affectée par l'entraînement et est semblable à celle produite lors d'un exercice de haute intensité.

L'anatomie de la glande sudoripare du cheval peut expliquer cette différence avec l'Homme. Il n'existe pas de dispositif permettant la réabsorption des électrolytes dans le conduit de la glande, ce qui limite le potentiel de modification de la sueur avec l'entraînement.

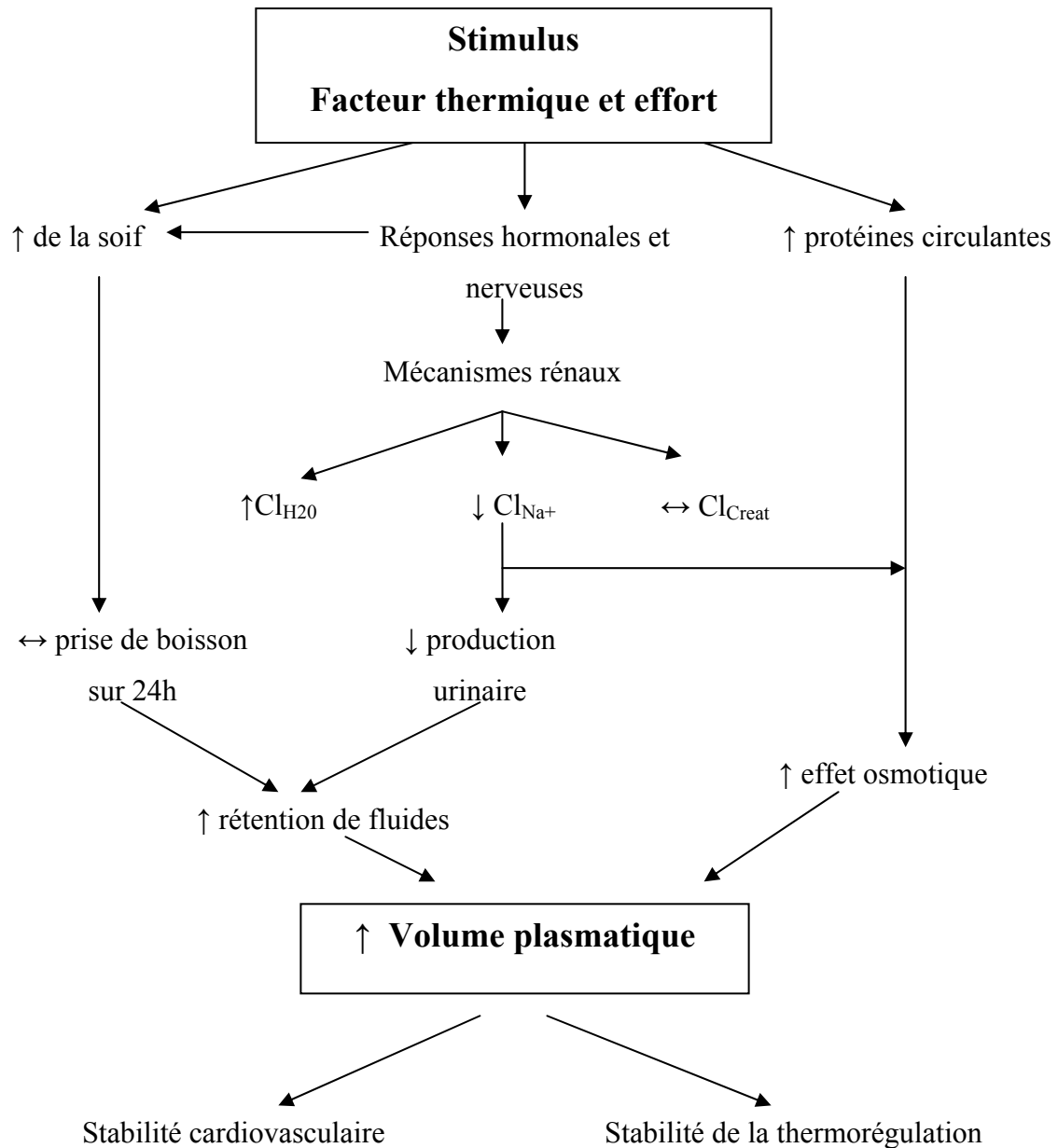
B. Effet de l'entraînement sur le plasma

Rose et Hodgson (1982) ont suivi 11 chevaux d'endurance pendant 12 semaines d'entraînement réalisé par des cavaliers expérimentés dans cette discipline. Ils ont étudié les paramètres suivants : sodium, potassium, chlore, créatinine, urée, protéines totales, albumine et hématocrite. Tous les paramètres sont restés stables au cours de cette période d'entraînement, seul le calcium a augmenté à la semaine 10. Les globules rouges et les protéines totales sont également restés stables. Pourtant une hypervolémie serait bénéfique pour la stabilité du système cardiovasculaire et de la thermorégulation au cours de l'effort. L'augmentation de l'eau corporelle totale apporte des fluides supplémentaires qui assurent la

stabilité du système cardiovasculaire. Ce volume supplémentaire est nécessaire au maintien du retour veineux et au travail cardiaque. L'hypervolémie représente deux avantages pour la thermorégulation : elle permet d'une part d'augmenter la capacité du flux sanguin cutané à transporter la chaleur de l'intérieur de l'organisme à la périphérie et, d'autre part, elle permet l'augmentation du volume de fluide disponible pour la production de sueur. (McKeever, 2008)

Une étude (McKeever *et al.*, 1987) a montré qu'il y avait bien chez le cheval une augmentation du volume plasmatique en réponse à l'entraînement d'endurance. Les mécanismes à l'origine de cette hypervolémie seraient dus pour 60% à la thermorégulation. Les 40% restant étant lié l'exercice. Ces mécanismes contrebalancent les pertes en fluides et en électrolytes en augmentant la prise de boisson et en diminuant les pertes rénales. La figure 9 résume les différents mécanismes mis en jeu.

Figure 9 (d'après McKeever, 2008) : Mécanismes proposés pour l'hypervolémie induite par l'entraînement observée chez le cheval.



Légende

Cl : clearance

↔ : stable

↓ : diminution

↑ : augmentation

L'abreuvement pendant et après l'exercice permet de remplacer, au moins partiellement, les déficits en fluides mais pas en électrolytes. Les études sont contradictoires sur le fait que l'entraînement augmenterait la prise de boisson (McKeever, 2008).

De plus, il a été observé qu'il y avait une réduction de la production d'urine afin de retenir le sodium et l'eau nécessaires à l'augmentation du volume plasmatique. Cette réduction est due à une altération des mécanismes postglomérulaires et non pas à une diminution du taux de filtration (McKeever *et al.*, 1987). Il a été suggéré que l'urée, et non pas le sodium, était à l'origine de la rétention rénale de l'eau permettant l'augmentation du volume plasmatique. (McKeever *et al.*, 1987). Cependant, il y a une augmentation de la natrémie parallèlement à l'augmentation de la volémie. Une autre voie de rétention est donc nécessaire pour expliquer cette augmentation de la natrémie en dépit des pertes par la sueur. Ainsi la seule autre possibilité afin de limiter le déficit en sodium se trouve au niveau du tube digestif. La réabsorption d'eau et d'électrolytes par le tube digestif peut être augmentée par l'entraînement tout comme la rétention rénale. Il a été montré que dans les premiers jours de l'entraînement, il y a une forte diminution de la production d'urine et de l'excrétion en sodium. Ainsi, le cheval est capable de conserver le sodium et l'eau au niveau des reins grâce à l'aldostérone (McKeever *et al.*, 2002). Cependant, ce mécanisme ne permet pas d'équilibrer les pertes par la sueur, l'aldostérone pourrait également agir sur le côlon afin d'augmenter la réabsorption des électrolytes et de l'eau (McKeever *et al.*, 2002).

On observe également une augmentation des protéines totales plasmatiques au cours de l'entraînement d'endurance. Ceci permet au plasma de rester iso-oncotique et de maintenir l'eau dans le compartiment vasculaire. Chez l'Homme, cette augmentation est due à un apport de protéines à partir des vaisseaux lymphatiques alors que chez le cheval, elle est due à une augmentation de leur synthèse (McKeever, 2008).

Des études chez l'Homme ont montré des modifications au niveau des barorécepteurs cardiopulmonaires et des atriopeptides natriurétiques. Aucune étude ne s'est encore intéressée à ce problème chez le cheval (McKeever, 2008).

L'augmentation du volume plasmatique survient dès le début de l'entraînement et est suivie par une augmentation progressive du volume des globules rouges. On a ainsi une fausse impression d'anémie lorsque l'on mesure l'hématocrite chez les sportifs en début d'entraînement. Mais après plusieurs semaines, le cheval a un plus grand volume sanguin avec plus de plasma et de cellules sanguines qu'au début de l'entraînement. (McKeever, 2008)

Bien que les études sur l'entraînement du cheval d'endurance soient peu nombreuses, quelques données peuvent être retenues. Tout d'abord, la composition de la sueur du cheval ne peut être modifiée. Ensuite, tous s'accordent à dire que l'entraînement à l'endurance induit une hypervolémie associée à une conservation du sodium dans l'organisme.

Conclusion

Au cours de l'exercice, la température corporelle du cheval augmente. Afin de limiter cette augmentation de température, les mécanismes de la thermorégulation se mettent en place pour aboutir à la production de sueur hypertonique par rapport au plasma. Ces pertes en eau et en électrolytes se répercutent sur le plasma de façon variable selon les courses et les conditions climatiques. D'une manière générale pendant la course, on observe une diminution de la concentration plasmatique en chlore, en potassium et en calcium. Les modifications de la concentration en sodium sont variables et sont surtout le reflet du statut hydrique du cheval. La concentration plasmatique en magnésium, quant à elle, reste stable. L'hématocrite ainsi que les protéines totales et les concentrations plasmatiques en urée et créatinine augmentent. Cependant, ces modifications sont moins prononcées que ce que l'on attendait. L'organisme est, en effet, capable d'économiser l'eau et les électrolytes grâce à des systèmes de régulation dont le plus efficace se trouve au niveau du rein. Ainsi, au cours de l'effort, l'urine émise possède un pH de 7,3, une densité de 1,0219 et des concentrations en $\text{Na}^+ = 14,5\text{mmol/L}$, $\text{K}^+ = 56,6\text{mmol/L}$ et $\text{Cl}^- = 4,3\text{mmol/L}$.

Enfin, comme tout sportif, le cheval d'endurance suit un programme d'entraînement. Ceci lui permet d'adapter son organisme à l'effort qui lui sera demandé pendant les compétitions. Il en résulte une augmentation du volume plasmatique ainsi que de la concentration en protéines totales dans le plasma. L'organisme produit également moins d'urine et diminue son excrétion en sodium.

DEUXIEME PARTIE :

Etude expérimentale de l'évolution du statut hydro-électrolytique pendant l'entraînement et l'effort chez le cheval d'endurance

La plupart des études menées sur le métabolisme du cheval d'endurance sont relativement anciennes et ont été réalisées en course sur des distances assez réduites (80 à 100km) et à faible vitesse. L'étude mise en place vise à faire le point sur la physiologie du cheval d'endurance du 3ème millénaire. Un suivi longitudinal d'un ensemble de paramètres physiologiques sur un groupe homogène de chevaux expérimentaux, hébergés au même endroit, nourris et entraînés de façon standardisée et gérés comme des chevaux de compétition a donc été mis en place.

I. Matériel et méthodes

A. Effectifs

Huit chevaux de race arabe ou demi sang arabe, qualifiés pour participer à des épreuves d'endurance de 120km ont pris part au protocole pendant la saison 2008. L'âge moyen des chevaux était de 10 ans [7-13ans]. Leur provenance était diverse. Trois chevaux étaient déjà à l'ENESAD (Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon) avant le début du protocole. Les autres ont été prêtés pour la saison pour diverses raisons : cavalière enceinte, chevaux habituellement en pension. Ils ont ensuite été répartis en deux groupes entretenus et gérés dans les mêmes conditions dans les écuries de l'ENESAD. Le tableau 10 récapitule les différents chevaux et leurs caractéristiques principales.

Tableau 10 : Caractéristiques des chevaux participant au protocole

Gpe	Lettre	Nom du cheval	Race	Sexe	Age	Qualifié	Propriétaire	Robe
1	B	KEBAR DE JALIMA	Ar	H	11	120	Jean-Claude Guillaume	bai
1	F	NAYA DE BOZOULS	Ar	F	11	160	Marcel Mézy	gris
1	G	NAID DE BOZOULS	Ar	H	8	90	Marcel Mézy	aubère
1	A	BELIK DE JALIMA	Ar	H	10	90	Jean-Claude Guillaume	gris
2	D	HALAN LE TEXAN	DSAr	H	13	160	Jacqueline Riondet	gris
2	C	SIGLAVY BAGDADI BIBOR	Ar shagya	F	13	110	Gabi Von Felten	gris
2	E	NAZIA DE NIELLANS	Ar	F	7	90	Mélissa Bisoffi	alezan
2	H	ZAAF DE BOZOULS	Ar	H	9	120	Marcel Mézy	gris

B. Alimentation

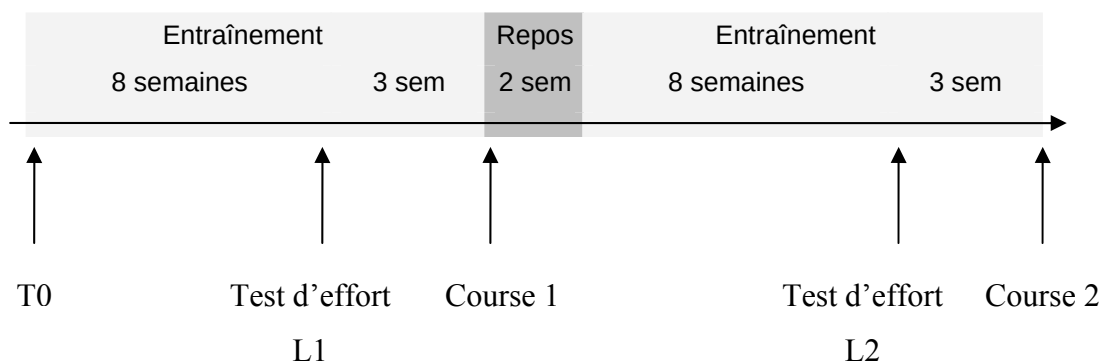
Pendant tout le protocole les chevaux ont été nourris avec une ration à base de foin de prairie naturelle (75%) et d'aliment granulé Olympic (aliments ETIENNE) (22,5%) à hauteur de 1,9kg MS/100kg. Ils recevaient également une supplémentation en huile de type ISIO4, afin d'atteindre un taux de matière grasse globale de la ration de 2,5%. Ainsi la quantité moyenne d'huile distribuée a été en moyenne de 232mL/jour/cheval. Cette supplémentation a été mise en place pendant la phase d'habituatation puis a été arrêté après T0 pour être reprise 30 jours avant chaque course.

Les chevaux ont également reçu une supplémentation minérale avec du BIONUTRON pendant les 23 jours précédant la course.

C. Programme d'entraînement

Les chevaux ont été soumis à un programme d'entraînement classique pour des chevaux d'endurance de haut niveau. Le protocole adopté était découpé en deux phases d'entraînement de 10 semaines avec un test d'effort sur piste au bout des 8 premières semaines. Chaque phase d'entraînement s'est achevée sur une course de 120km. La figure 10 résume le protocole suivi pendant la saison 2008.

Figure 10 : Protocole suivi pendant la saison 2008



Avant leur première course, les chevaux étaient sortis montés pendant 2h à raison de 3 séances par semaine. Ils effectuaient un travail varié au pas et au trot, avec de petites phases de galop. Les autres jours, les chevaux étaient mis au paddock de 9h00 à 17h00.

NAID et KEBAR sont sortis sur une course de 40km un mois et demi avant leur première course. Ils ont couru à 12,7km/h en moyenne et ont très bien toléré cet effort.

Après la première course de 120km, les chevaux ont été mis au paddock pendant 2 semaines, puis l'entraînement a repris. Durant le mois d'août, les chevaux ont travaillé 3 à 4 fois par semaine, soit monté (2h avec dénivelé) soit au marcheur (1h30 au pas).

D. Programme détaillé des évaluations des chevaux

Le protocole rassemblait plusieurs sujets d'études ce qui explique les différentes évaluations réalisées. Le tableau 11 regroupe tous les événements de la saison 2008.

Tableau 11 : Calendrier des examens réalisés sur les chevaux du protocole PEPCE

T0	L1	C1a	C1p	L2	C2a	C2p
Examen initial	1 ^{er} test sur piste	Avant la 1 ^{ère} course	Après la 1 ^{ère} course	2 ^{ème} test d'effort	Avant la 2 ^{ème} course	Après la 2 ^{ème} course
	T0 + 8 sem	L1 + 3 sem	C1a + 1 jour	C1 + 9 sem	L2 + 3 sem	C2a + 1 jour
Bilan sanguin	Bilan sanguin	Bilan sanguin	Bilan sanguin	Bilan sanguin	Bilan sanguin	Bilan sanguin
Biopsie musculaire		Biopsie musculaire*	Biopsie musculaire		Biopsie musculaire*	Biopsie musculaire
Echographie cardiaque		Echographie cardiaque	Echographie cardiaque		Echographie cardiaque	Echographie cardiaque
Endoscopie, LTT, LBA	Endoscopie, LTT, LBA		Endoscopie, LTT, LBA	Endoscopie, LTT, LBA		Endoscopie, LTT, LBA
Digestibilité			Digestibilité			Digestibilité
8 chevaux	6 chevaux	7 chevaux	6 chevaux	7 chevaux	7 chevaux	3 chevaux
BELIK BIBOR HALAN KEBAR NAID NAYA NAZIA ZAAF	<i>BELIK</i> BIBOR HALAN KEBAR NAID NAYA NAZIA ZAAF	BELIK HALAN KEBAR NAID NAYA NAZIA ZAAF	BELIK HALAN KEBAR NAID NAYA <i>NAZIA 90</i> ZAAF	 BIBOR HALAN KEBAR NAID NAYA NAZIA ZAAF	BIBOR KEBAR NAID NAYA NAZIA ZAAF	<i>BIBOR 90</i> KEBAR <i>NAID 60</i> <i>NAYA 90</i> NAZIA ZAAF

LTT: lavage trans-trachéal; LBA: lavage broncho-alvéolaire.

**Les biopsies musculaires pré-courses ont été réalisées 10 jours avant la course.*

Les noms des chevaux n'ayant pas réalisé l'ensemble du protocole sont indiqués en italique.

E. Déroulement des tests d'effort

Les tests d'effort consistaient en 2×1h de galop sur piste. Après un échauffement d'une quinzaine de minutes au pas et au trot, les chevaux galopèrent à 110 foulées/min soit 20km/h en changeant de main toutes les 15 minutes pendant une heure. Une pause de 15 min était accordée afin de constituer une période de repos (rafraîchissement et abreuvement des chevaux) et de réaliser les prélèvements. Puis le galop était repris à 100-105 foulées/min pendant une heure. Le test était suivi d'une récupération active au trot et au pas pendant 10 min.

F. Les courses

Les tableaux 12 et 13 regroupent les courses de chaque groupe en rappelant les chevaux qui y ont pris part ainsi que les conditions de course.

Tableau 12: Descriptifs des courses du groupe 1

		Chevaux	Cavalier	Engagement	Transport	Logement	Epreuve	Conditions climatiques
Groupe 1	1 ^{ère} Course 21 Juin Vittel 117km	KEBAR de JALIMA NAID de BOZOULS NAYA de BOZOULS	Anne-Gaëlle GOACHET Antony CHANVIN Julien GOACHET	CEI** Amateur élite CEI**	3h30	Boxes démontables. Température étouffante en journée.	Technique mais peu de dénivelé. Sol bon et non caillouteux.	Brouillard au départ puis ensoleillé. T° 27°C Humidité 33%.
	2 ^{ème} course 19 Sept Montpazier 119km	KEBAR de JALIMA NAID de BOZOULS NAYA de BOZOULS SIGLAVI BAGDADI BIBOR	Anne-Gaëlle GOACHET Antony CHANVIN Julien GOACHET Pierre-Marie MORVAN	CEI** Amateur élite CEI** CEI**	8h	Boxes démontables.	Très technique. Sol dur avec beaucoup de goudron.	Ensoleillé. T° 20°C

Tableau 13 : Descriptifs des courses du groupe 2

		Chevaux	Cavalier	Engagement	Transport	Logement	Epreuve	Conditions climatiques
Groupe 2	1 ^{ère} Course 11 juillet Saint Galmier 119km	NAZIA de NIELLANS HALAN le TEXAN ZAAF de BOZOULS	Anne-Gaëlle GOACHET Antony CHANVIN Pierre AUFFRET	CEI** Amateur élite Amateur élite	4h	Boxes démontables.	Moitié de la course technique avec de bonnes montées, autre moitié plate et roulante. Sol bon.	Ensoleillé puis orage et temps lourd. T° 22 à 27°C.
	2 ^{ème} course 25 octobre Ghlin 132km	BELIK de JALIMA NAZIA de NIELLANS ZAAF de BOZOULS	Anne-Gaëlle GOACHET Antony CHANVIN Pierre-Marie MORVAN		7h	Boxes en dur.	Terrain plat. Beaucoup de goudron.	Temps frais humide et venteux. T° max 12°C

G. Mesures

1. Prélèvements urinaires :

Lors des courses, les prélèvements urinaires sont réalisés par miction spontanée, la veille de la course puis au second vet gate et enfin après l'arrivée. Lors des tests d'effort, l'urine est prélevée la veille ou le matin même avant le transport sur la piste.

2. Prélèvements sanguins

Les prises de sang sont réalisées par ponction à la veine jugulaire, la veille de la course, au deuxième vet gate puis 2h après l'arrivée. Des prélèvements sanguins sont également réalisés avant chaque test d'effort, le matin du test avant le départ en van pour la piste.

Les tubes, sont décantés à température ambiante, puis centrifugés à 3000 tours/minute. Le plasma et le sérum sont récupérés et conservés au froid.

Les prélèvements sont acheminés au laboratoire par Chronopost® sous couvert du froid. Lors des deux premières courses, les tubes n'étaient pas tous centrifugés avant l'envoi. Mais, les délais d'acheminement s'étant révélés plus longs que prévus, cette opération a été réalisée pour les envois suivants.

A partir des prélèvements sanguins, différents paramètres ont été dosés par le laboratoire Franck Duncombe (LDFD) :

- numération formule sanguine,
- urée,
- créatinine,
- protéines totales,
- albumine,
- globulines,
- électrolytes suivants : Na, K, Cl, Ca.

Un deuxième laboratoire (NVBC) a dosé le calcium, le phosphore et le magnésium plasmatique. Le cortisol a été dosé par le laboratoire de l'école vétérinaire de Nantes (ENVN).

L'urine a également été analysée par ces laboratoires pour les paramètres suivants :

- créatinine,
- électrolytes Na, K, Cl, Ca, P, Mg,
- pH,
- bicarbonates.

Une mesure du pH à l'aide de papier pH et de la densité à l'aide d'un réfractomètre a été réalisé par nos soins sur le site des courses peu de temps après le prélèvement.

II. Résultats

A. Résultats obtenus en course.

Dans un premier temps nous allons nous intéresser aux données obtenues en course.

1. Bilan des courses

a) *Groupe 1*

i Première course

Lors de la course de Vittel, les trois chevaux ont terminé la course. Leur vitesse et leur place sont résumées dans le tableau 14.

Tableau 14 : Performance des chevaux du groupe 1 sur leur première course

Cheval	1ère boucle (26 km)			2ème boucle (38 km)			3ème boucle (27 km)			4ème boucle (26 km)			Total course		
	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place
NAYA	01:58:00	13,22	12	02:23:36	15,87	13	01:49:20	14,81	11	01:39:29	15,68	10	07:50:25	14,92	10
NAID	02:09:37	12,03	34	02:37:12	14,5	30	01:50:30	14,66	28	01:45:46	14,74	24	08:23:05	13,95	5
KEBAR	02:09:35	12,03	33	02:37:12	14,5	29	01:50:31	14,65	27	01:45:46	14,74	23	08:23:04	13,95	19
Gagnant	01:55:23	13,52	10	02:16:46	16,67	7	01:37:13	16,66	2	01:26:52	17,95	1	07:16:14	16,09	1
Dernier	02:18:31	11,26	61	02:54:19	13,07	55	02:18:19	11,71	43	02:06:36	12,32	37	09:37:45	12,15	37

Les trois chevaux ont bien supporté le transport et la course. Les seules anomalies observées lors des vet gate sont les suivantes :

- NAID a présenté une polypnée au vet gate 2 et de la déshydratation (pli de peau et TRC 3s) au vet gate 3.

- NAYA avait un pli de peau de 2s à partir du deuxième vet gate, et ce, jusqu'à l'arrivée.

- KEBAR a montré de légers signes de déshydratation (muqueuses oculaires notées B et pli de peau de 2s).

Le lendemain de la course, les trois chevaux étaient un peu fatigués et présentaient encore de discrets signes de déshydratation clinique.

Les valeurs de paramètres sanguins sont présentées en Annexe 1, et les valeurs des paramètres urinaires en annexe 2.

ii Deuxième course

Les résultats de la deuxième course du groupe 1 ont été moins bons : trois des quatre chevaux engagés ont été éliminés avant la fin de l'épreuve.

NAID fut éliminé au 2^{ème} vet gate pour boiterie de l'antérieur droit de grade 3/5.

NAYA fut éliminée au 3^{ème} vet gate pour boiterie du postérieur gauche de grade 3/5.
 BIBOR fut éliminé au ré-examen du 3^{ème} vet gate pour boiterie du postérieur droit. Elle avait commencé à montrer des signes de fatigue dès le 2^{ème} vet gate.
 Seul KEBAR a terminé la course à la 23^{ème} place avec une vitesse moyenne de 14,58km/h.
 Les annexes 3 et 4 regroupent les données obtenues sur la deuxième course du groupe 1

b) Groupe 2

i Première course

La première course du groupe 1 fut terminée par HALAN et ZAAF, malheureusement NAZIA fut éliminée pour boiterie de l'antérieur gauche au 3^{ème} vet gate. Le tableau 15 résume les vitesses de chaque cheval.

Tableau 15 : Performance des chevaux du groupe 2 sur leur première course

Cheval	1ère boucle (30 km)			2ème boucle (29 km)			3ème boucle (30 km)			4ème boucle (31 km)			Total course		
	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place
HALAN	1 :50 :08	15,77	24	1 :25 :12	19,42	19	1 :45 :30	16,12	14	1 :27 :25	19,91	12	6 :28 :15	17,58	12
NAZIA	1 :50 :08	15,34	41	1 :31 :02	17,40	37	2 :12 :10	13,24	30	x	x	x	5 :33 :20	15,19	x
ZAAF	1 :50 :08	15,83	23	1 :25 :39	19,35	18	1 :45 :37	15,61	14	1 :39 :12	17,54	15	6 :40 :36	16,93	15

NAZIA a eu un peu de mal à récupérer aux 2 premiers vet gate.
 ZAAF a montré des signes de déshydratation dès le 1^{er} vet gate (muqueuses oculaires notées B, pli de peau et TRC augmentés) et un temps de récupération un peu long au 3^{ème} vet gate.
 Le lendemain de la course, HALAN présentait encore de légers signes de déshydratation (pli de peau 2sec, TRC de 2 sec) et ZAAF avait les muqueuses un peu jaunes.
 Les annexes 5 et 6 regroupent les données obtenues sur la première course du groupe 2. L'analyse de ces données doit tenir compte du fait que les prélèvements sont parvenus au laboratoire d'analyses 5 jours après leur collecte.

ii Deuxième course

Les trois chevaux engagés ont terminé la course. Le tableau 16 présente une moyenne des vitesses et des places au cours de l'épreuve pour les chevaux du projet qui ont couru ensemble et les compare aux valeurs du premier et du dernier cheval de la course.

Tableau 16 : Performance des chevaux du groupe 2 sur leur deuxième course

Cheval	1ère étape (38 km)			2ème étape (29 km)			3ème étape (38 km)			4ème étape (27 km)			Total course		
	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place	temps	vitesse	place
PEPCE	2 :32 :02	14,67	35	1 :42 :21	16,21	27	2 :22 :05	15,34	19	1 :49 :18	14,60	14	10 :50 :50	15,16	14
Gagnant	2 :15 :59	16,54	12	1 :40 :44	16,79	13	1 :51 :42	19,92	2	1 :05 :32	24,35	1	9 :15 :13	18,73	1
Dernier	2 :43 :07	14,09	38	2 :06 :34	13,75	30	3 :10 :16	12,08	25	2 :14 :01	11,91	24	12 :15 :13	12,92	24

La vitesse de récupération des chevaux a été dans les normes lors des 2 premiers vet gate, plus lente lors du 3^{ème}. Les chevaux ont peu bu au passage des vet gate mais ont bien bu sur la piste.

Le lendemain, les examens cliniques de 2 des 3 chevaux sont normaux. ZAAF présentait encore de légers signes de déshydratation avec pli de peau à 2 sec et un transit un peu diminué dans les cadrans supérieurs.

Les annexes 7 et 8 rassemblent les données obtenues sur la deuxième course du groupe 2.

Le tableau 17 résume les résultats en course des chevaux des 2 groupes.

Tableau 17 : Récapitulatif des groupes et des courses auxquels ont pris part les chevaux.

	Course 1		Course 2	
	Chevaux engagés	Lieu	Chevaux engagés	Lieu
Groupe 1	Kebar	Vittel	Kebar	Monpazier
	Naid		Naid	
	Naya		Naya	
			Bibor	
Groupe 2	Halan	St Galmier	Nazia	Ghlin
	Nazia		Zaaf	
	Zaaf			
	Belik	Ghlin		

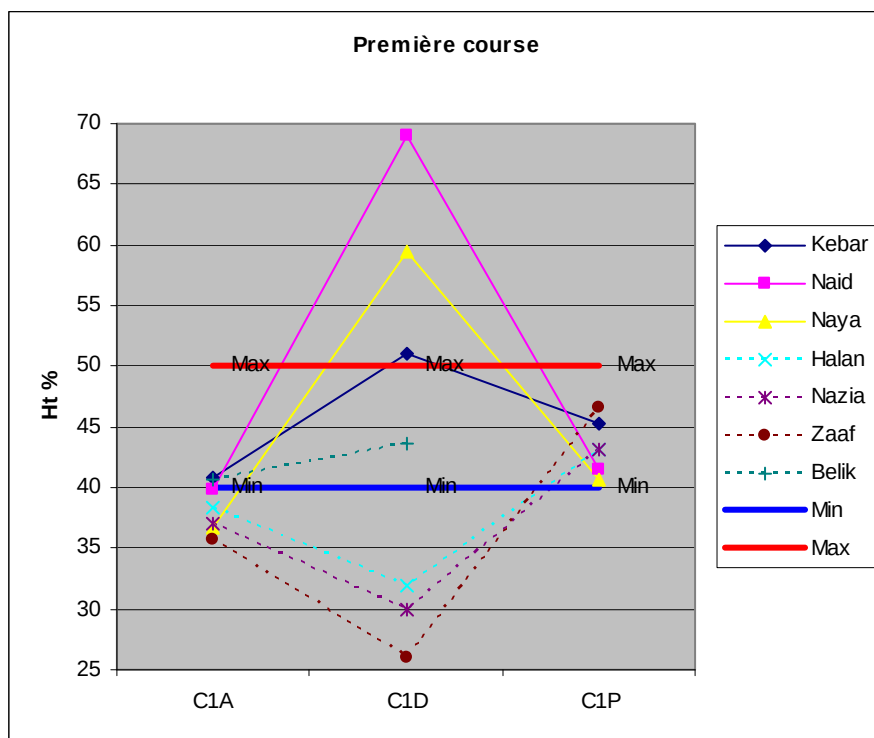
Les chevaux indiqués en gras ont terminé la course.

2. Résultats sanguins obtenus au cours des courses

L'analyse des résultats nous a permis d'obtenir différentes courbes à partir desquelles il est possible d'énoncer les grandes tendances selon lesquelles évoluent les paramètres au cours de la course. Lorsque les données sont disponibles, il est également possible de décrire les résultats avant (CA) et après la course (CP) et l'évolution des paramètres en première partie de course (CA→CD) et en deuxième partie (CD→CP). Ces résultats seront ensuite comparés avec les données bibliographiques.

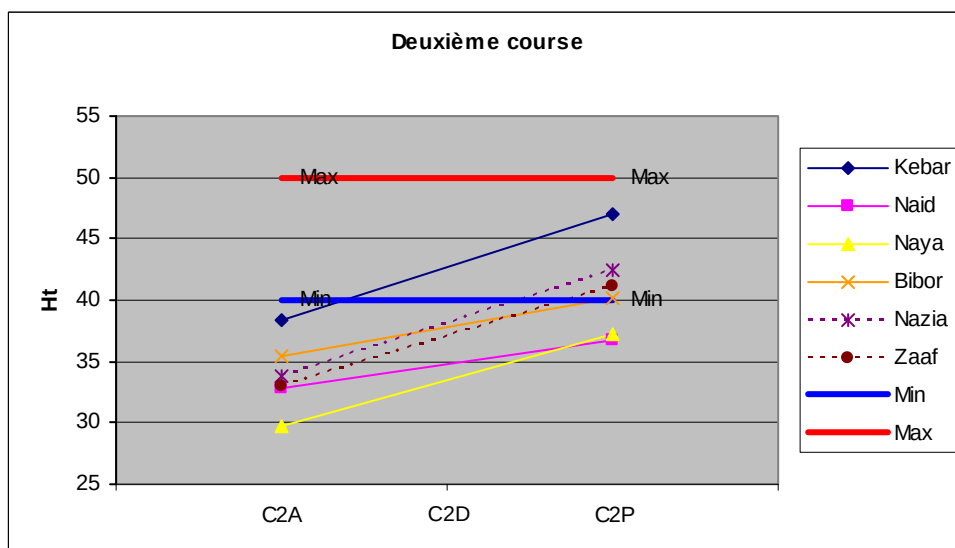
a) Hématocrite

Figure 11 : Evolution de l'hématocrite sur la première course



Avec min : valeur minimale de référence et max : valeur maximale de référence.

Figure 12 : Evolution de l'hématocrite sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

On observe une augmentation de l'hématocrite de tous les chevaux sur l'ensemble des deux courses par rapport à leurs valeurs initiales. Cette augmentation est de 5% environ sur la première course et de 7% sur la seconde.

Lors de la première course, les données obtenues sont différentes en fonction des chevaux en milieu de course, on observe :

- pour les chevaux du groupe 1, une nette augmentation de l'hématocrite en milieu de course ;
- pour les chevaux du groupe 2 une diminution en milieu de course ;
- pour Belik, qui n'a pas couru sa première course en même temps que les autres chevaux du groupe 2, une augmentation de l'hématocrite lors de la course.

Lors de la seconde course, l'hématocrite de tous les chevaux augmente.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Au départ de la course, tous les chevaux sont dans les valeurs minimales de référence voire en dessous.

A la fin de la première course, tous les chevaux ont des valeurs en hématocrite qui se situent dans les valeurs de référence.

A la fin de la seconde course :

- Naid et Naya, qui avaient commencé leur course avec un hématocrite très bas, la terminent avec des valeurs encore en dessous des valeurs de référence.
- l'hématocrite des quatre autres chevaux est dans les valeurs usuelles.

iii Résultats statistiques

Une analyse des résultats obtenus a été réalisée à l'aide d'un test de t student, bilatéral apparié. Les données avant course ont été comparées avec celles du milieu de course et de l'arrivée. Les données de la mi-course ont également été comparées à celles de la fin de course. Les résultats obtenus sont regroupés dans l'Annexe 10.

On obtient ainsi pour l'hématocrite :

- une différence significative entre le départ et l'arrivée des courses ;
- pas de différence entre le départ et le milieu de la course ;
- pas de différence entre la mi-course et l'arrivée.

Les données avant course ont également été comparées aux valeurs usuelles. Leurs différences ne sont pas significatives pour la première course mais le sont pour la seconde.

iv Bilan

L'évolution de l'hématocrite peut être résumée par le tableau 18.

Tableau 18 : Bilan de l'évolution de l'hématocrite pendant les courses

Ht	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	< ou =	↑	↓	↑
Gp 2 C1	<	↓	↑	↑
Gp 1 C2	<	Données non disponibles (ND)	ND	↑
Gp2 C2	<	ND	ND	↑
Bilan	< NS C1 * C2	Non significatif (NS)	NS	↑ * (* : significatif)

b) Protéines totales

Figure 13: Evolution des protéines totales sur la première course

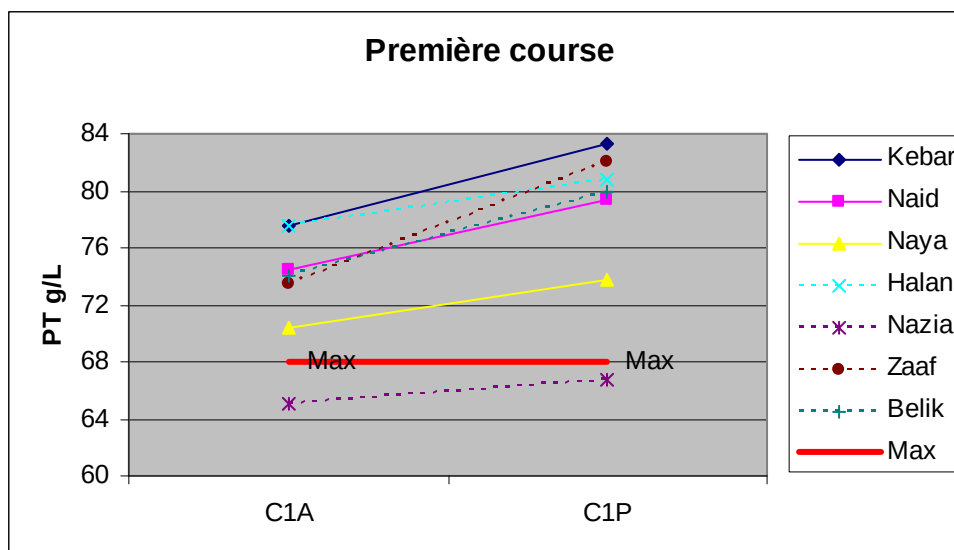
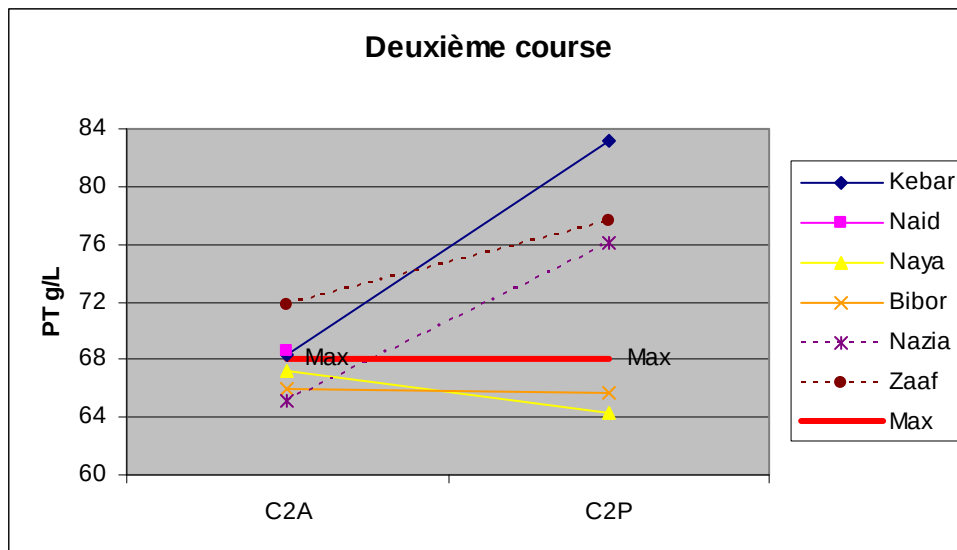


Figure 14: Evolution des protéines totales sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

On observe au cours de l'effort :

- une augmentation des valeurs plasmatiques en protéines totales pour tous les chevaux sauf pour deux chevaux du groupe 1 (Bibor et Naya) dans leur seconde course ;
- la protéinémie de Bibor reste stable au cours de la deuxième course ;
- la valeur plasmatique des protéines totales de Naya diminue légèrement pendant cette seconde course.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Avant le départ de la première course, 6 des 7 chevaux ont des valeurs plasmatiques en protéines totales au dessus de la valeur maximale de référence.

Avant le départ de la seconde course, on observe que :

- la moitié des chevaux ont un taux protéique plasmatique au dessus de la valeur maximale de référence ;
- l'autre moitié des chevaux a un taux protéique plasmatique proche de la limite supérieure de l'intervalle de référence, tout en restant dans cet intervalle de référence.

A l'arrivée de la première course, 6 des 7 chevaux ont des valeurs plasmatiques en protéines totales au dessus de la valeur maximale de référence.

A l'arrivée de la seconde course,

- la valeur de taux des protéines plasmatiques est dans les normes de référence pour deux des trois chevaux qui avaient un taux de protéines plasmatiques dans la norme au départ de la course ;
- la valeur du taux protéique plasmatique des autres chevaux est au dessus de la valeur maximale de référence ;

Il n'apparaît pas de différences entre les groupes.

iii Résultats statistiques

L'augmentation des protéines totales est :

- significative entre le départ et l'arrivée de la première course ;
- non significative entre le départ et l'arrivée de la deuxième course.
- significative entre le départ de la première course et les valeurs usuelles.
- non significative entre le départ de la deuxième course et les valeurs usuelles.

iv Bilan

L'évolution des protéines totales pendant les courses peut être résumée par le tableau 19.

Tableau 19 : Bilan de l'évolution des protéines totales pendant les courses

Pt	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	>	ND	ND	↑
Gp 2 C1	>	ND	ND	↑
Gp 1 C2	Proche valeur supérieure	ND	ND	variable
Gp2 C2	1Cv > 1Cv proche valeur sup	ND	ND	↑
Bilan	> * (C1) NS (C2)	ND	ND	↑ * (C1) NS (C2)

c) Urée

Figure 15: Evolution de l'urémie sur la première course

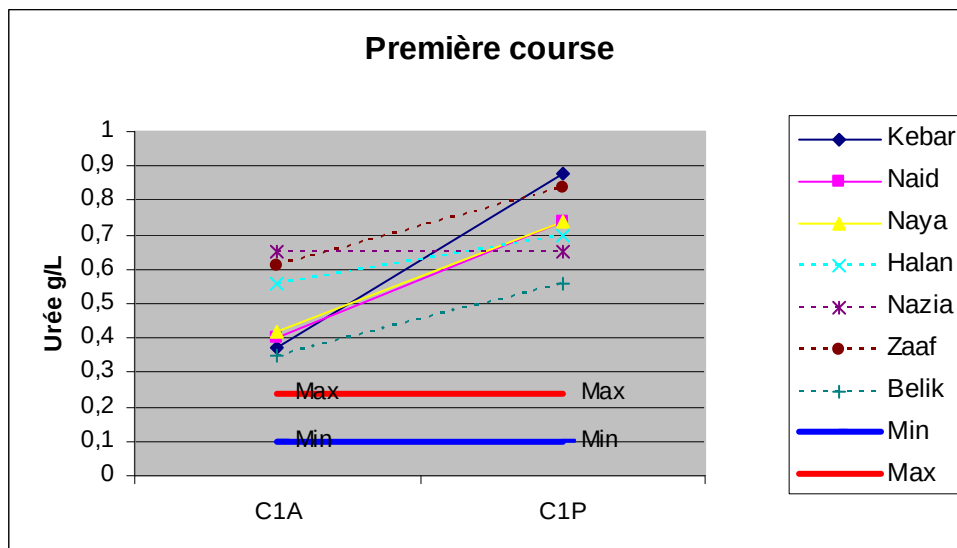
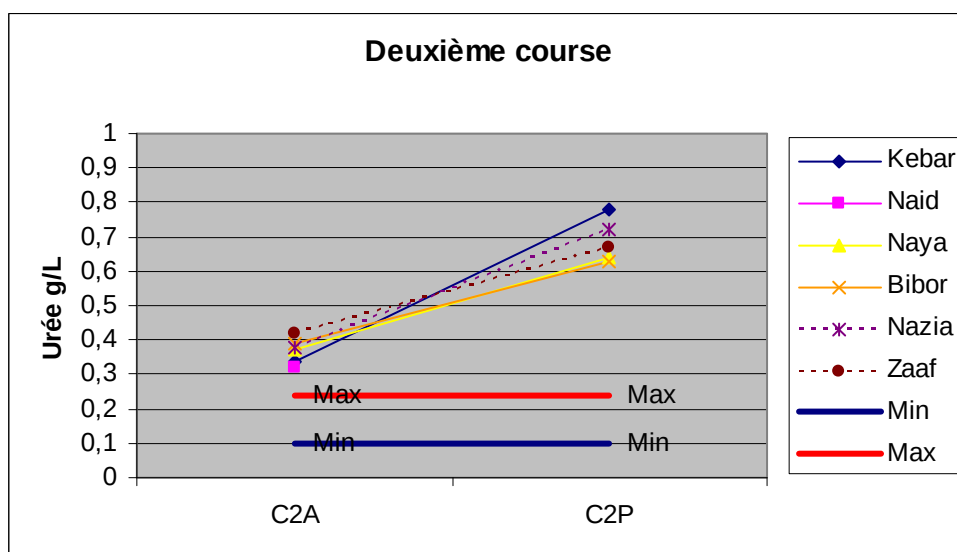


Figure 16: Evolution de l'urémie sur la deuxième course



L'urémie est largement au dessus des valeurs usuelles de référence, et ce au début comme à la fin de la course. Quel que soit le groupe de chevaux ou la course, l'urémie augmente au cours de l'effort.

D'un point de vue statistique, on obtient pour l'urémie :

- une différence significative entre le départ et l'arrivée des courses ;
- une différence significative entre les valeurs usuelles et celles obtenues avant le départ des deux courses.

Le tableau 20 résume l'évolution de l'urée pendant les courses.

Tableau 20 : Bilan de l'évolution de l'urémie pendant les courses

Urémie	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	>	ND	ND	↑
Gp 2 C1	>	ND	ND	↑
Gp 1 C2	>	ND	ND	↑
Gp2 C2	>	ND	ND	↑
Bilan	> *	ND	ND	↑ *

d) Créatinine

Figure 17: Evolution de la créatinémie sur la première course

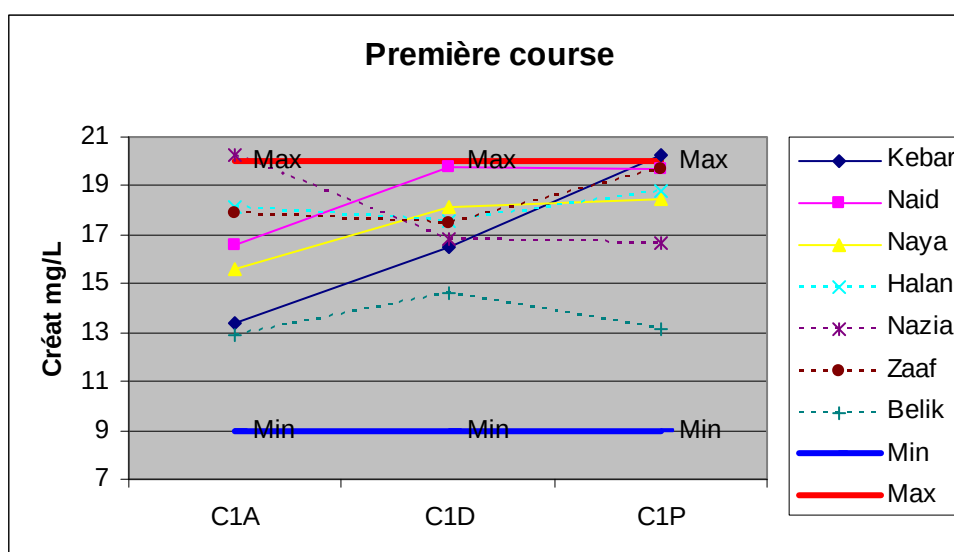
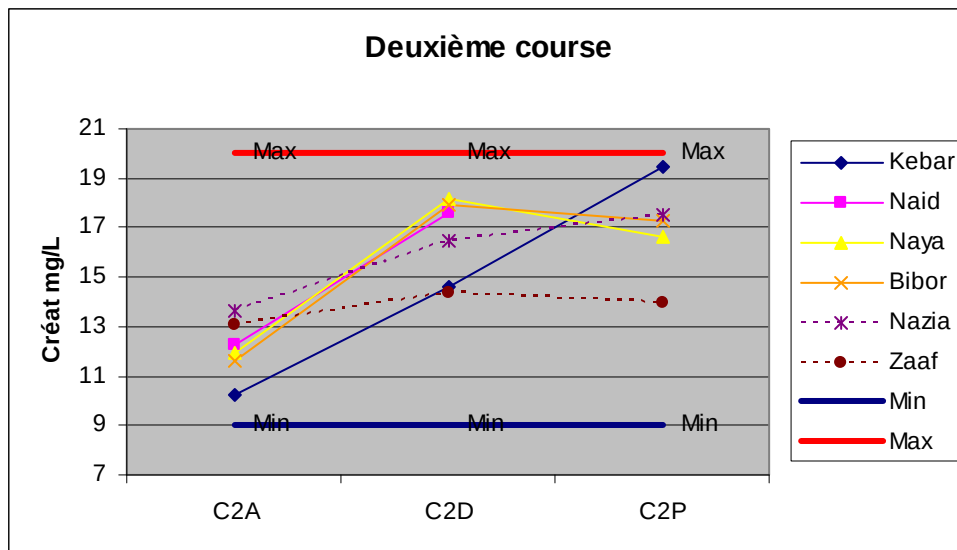


Figure 18: Evolution de la créatinémie sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

La créatinine augmente au cours de l'effort.

Cependant, au cours de la première course, on observe une différence entre les deux groupes :

-groupe 1 :

- les valeurs augmentent en première partie de course ;
- elles se stabilisent pour deux des trois chevaux dans la deuxième partie ;
- la créatinine plasmatique du dernier cheval continue d'augmenter dans la seconde partie de la compétition.

-groupe 2 : (Belik est exclu de ce groupe car il n'a pas couru en même temps que les trois autres chevaux)

- les valeurs de la créatinine plasmatique diminuent légèrement en début de course ;
- elle se stabilise pour un cheval en fin de course ;
- elle augmente pour les deux autres chevaux sur la deuxième partie de la course.

La valeur de créatinine plasmatique de Belik augmente légèrement au cours de la course. La valeur mesurée en fin de course est proche de celle mesurée avant course.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

On observe également que:

- 4 des 6 chevaux ont une valeur de créatinine plasmatique dans l'intervalle de référence ;
- 2 chevaux ont des valeurs de créatinine plasmatique très légèrement supérieures à la valeur maximale de référence (Nazia au début de la première course et Kebar à la fin de cette même course).

iii Résultats statistiques

L'augmentation de la créatinine est :

- non significative d'un point de vue statistique lors de la première course ;
- significative entre le départ et l'arrivée de la seconde course et entre le départ et la mi-course ;
- non significative entre la mi-course et l'arrivée de la seconde course.

iv Bilan

Le tableau 21 récapitule l'évolution de la créatinémie pendant les courses.

Tableau 21 : Bilan de l'évolution de la créatinémie pendant les courses

Créatinémie	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	Dans les normes (=)	↑	Stable	↑
Gp 2 C1	=	↓	↑	↑
Gp 1 C2	=	↑	↓ légèrement ↑ pour 1CV	↑
Gp2 C2	=	↑	↑	↑
Bilan	=	↑ NS (C1) ↑* (C2)	↑ NS	↑ NS (C1) ↑ * (C2)

e) Sodium

Figure 19: Evolution de la natrémie sur la première course

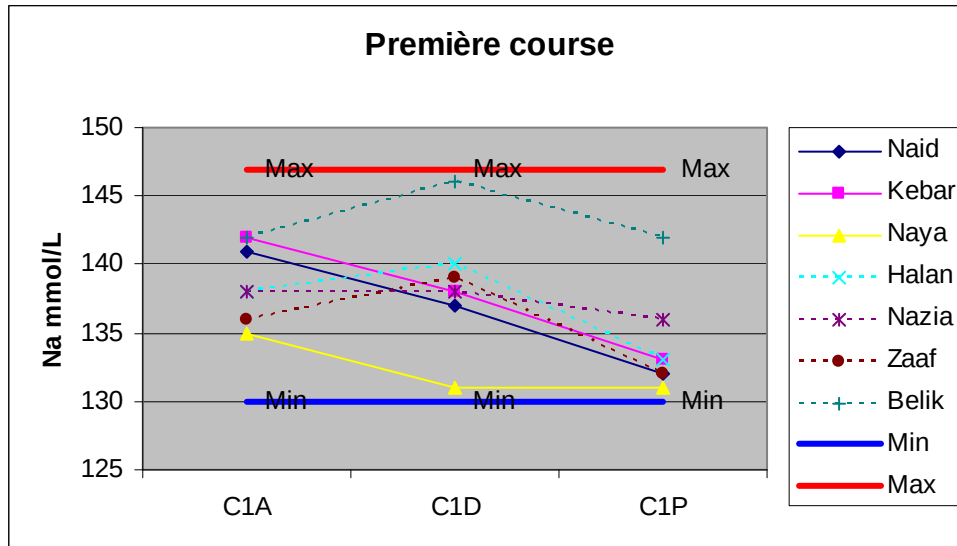
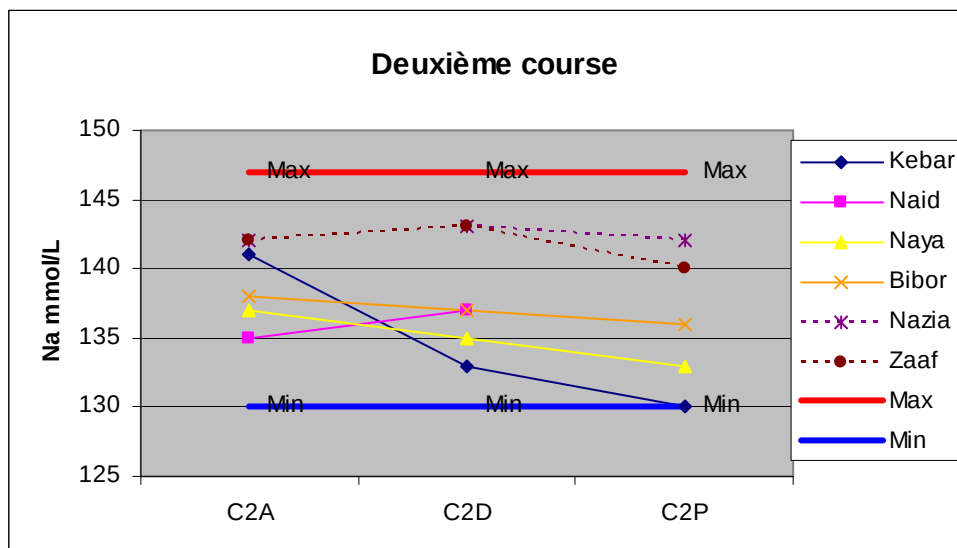


Figure 20: Evolution de la natrémie sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

Dans son ensemble, la natrémie diminue légèrement pendant la course.

Au cours de la première partie de la première course, la natrémie :

- diminue dans le groupe 1 ;
- augmente dans le groupe 2.

Au cours de la première partie de la deuxième course, la natrémie :

- augmente légèrement pour la moitié des chevaux ;
- diminue pour l'autre moitié,

et ce tout en restant dans l'intervalle des valeurs de référence.

Dans la seconde partie des courses, la natrémie diminue pour tous les chevaux, tout en restant dans l'intervalle des valeurs de référence.

ii Résultats statistiques

La légère diminution de la natrémie est :

- significative entre le départ et l'arrivée de la première course ;
- significative entre la mi-course et l'arrivée des deux courses ;
- non significative entre les autres parties des courses.

iii Bilan

Le tableau 22 résume l'évolution de la natrémie pendant l'effort.

Tableau 22 : Bilan de l'évolution de la natrémie pendant les courses

Natrémie	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	Dans les normes (=)	↓	↓	↓
Gp 2 C1	=	↑	↓	↓
Gp 1 C2	=	↓	↓	↓
Gp2 C2	=	↑	↓	↓
Bilan	=	Variable NS	↓ *	↓* (C1) ↓ NS (C2)

f) Potassium

Figure 21: Evolution de la kaliémie sur la première course

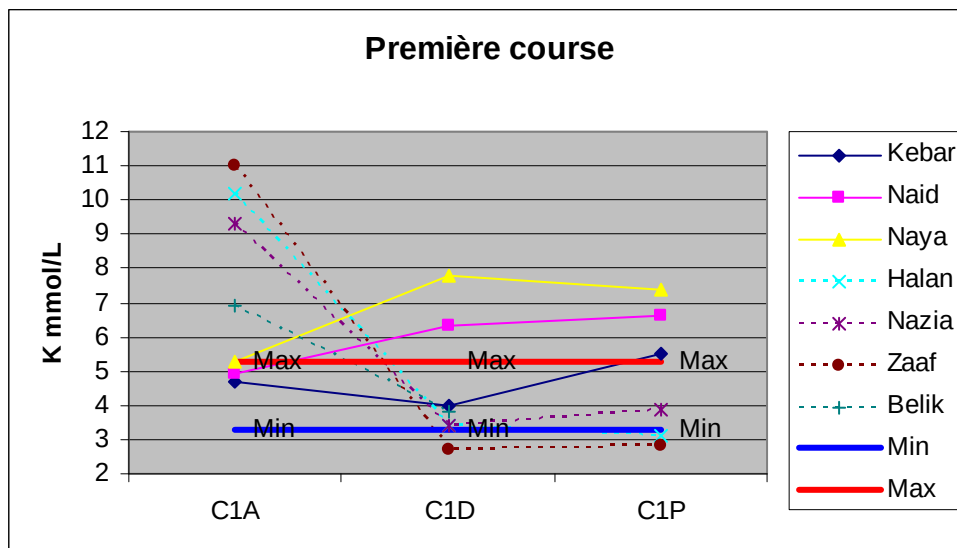
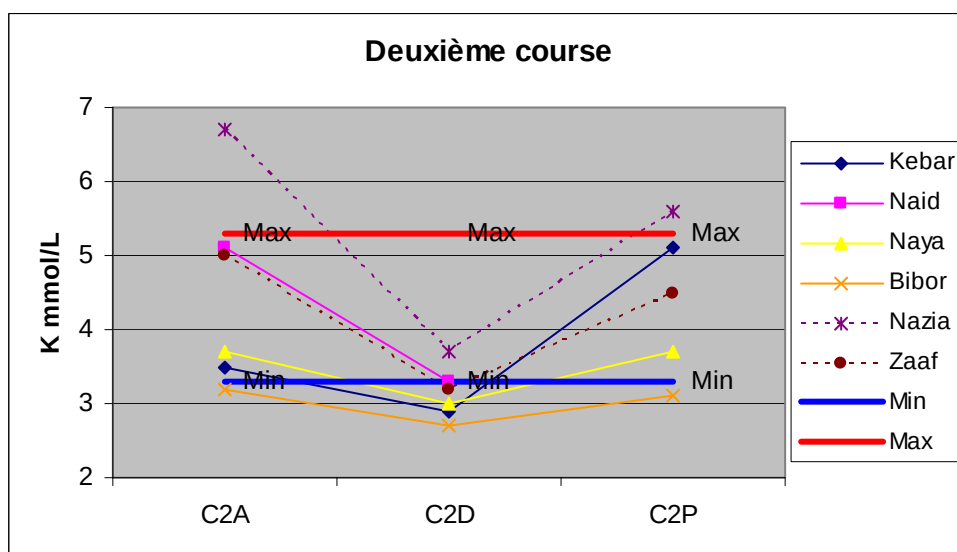


Figure 22: Evolution de la kaliémie sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

Le potassium plasmatique diminue au cours de la course.

En première partie de course, on observe :

- une diminution marquée de la kaliémie pour la majorité des chevaux ;
- une augmentation pour deux chevaux appartenant au groupe 1 (Naid et Naya) lors de la première course.

Dans la deuxième partie de la course, on observe :

- une augmentation de la kaliémie pour la majorité des chevaux, plus prononcée lors de la deuxième course ;
- la kaliémie de Naid et Naya reste stable lors de la première course (alors qu'elle augmentait en première partie de course).

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Au départ de la première course, on observe que :

- le groupe 1 a des valeurs de kaliémie dans l'intervalle des valeurs de référence mais proche de la valeur haute ;
- le groupe 2 a une kaliémie très augmentée par rapport aux normes. (NB : les conditions de conservation de ce prélèvement n'ont pas été optimales)

Au départ de la deuxième course, on observe que :

- la kaliémie est située dans les valeurs de références pour 4 des 6 chevaux ;
- un cheval du groupe 2 a une valeur de kaliémie supérieure à la valeur maximale de référence. La valeur de kaliémie est plus faible au départ de la seconde course par comparaison à la valeur au départ de la première course.
- un cheval du groupe 1 a une valeur de kaliémie inférieure à la valeur minimale de référence, bien qu'elle soit proche de cette valeur.

En milieu de course :

- la kaliémie de 5 chevaux est dans les valeurs de référence, tout en se rapprochant de la valeur de référence minimale ;
- quatre chevaux lors de la deuxième course et un cheval lors de la première ont une valeur de kaliémie inférieure aux valeurs de référence ;
- Naid et Naya ont des valeurs de kaliémie supérieures aux valeurs de référence.

A la fin de la première course :

- un des 6 chevaux a une kaliémie dans les valeurs de référence ;
- trois ont une valeur de kaliémie au dessus des valeurs de référence ;
- deux ont une valeur de kaliémie en dessous des valeurs de référence.

A la fin de la seconde course :

- trois chevaux ont une kaliémie dans les valeurs de référence ;
- un cheval a une valeur de kaliémie au dessus des valeurs de référence ;
- un cheval a une valeur de kaliémie en dessous des valeurs de référence.

iii Résultats statistiques

L'évolution de la kaliémie

- n'est pas significative sur la première course ;
- est significative entre le départ et la mi course et entre la mi course et l'arrivée de la seconde course ;

- non significative entre le départ et l'arrivée de la seconde course.

iv Bilan

Le tableau 23 récapitule l'évolution de la kaliémie pendant les courses.

Tableau 23 : Bilan de l'évolution de la kaliémie pendant les courses

Kaliémie	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	Dans les normes (=)	↓ pour 2CVx ↑ pour 1CV	Stable à ↑	↓
Gp 2 C1	↑	↓	↑	↓
Gp 1 C2	=	↓	↑	↓
Gp2 C2	=	↓	↑	↓
Bilan	=	↓ NS (C1) ↓* (C2)	↑ NS (C1) ↑* (C2)	↓ NS

g) Chlore

Figure 23 : Evolution de la chlorémie sur la première course

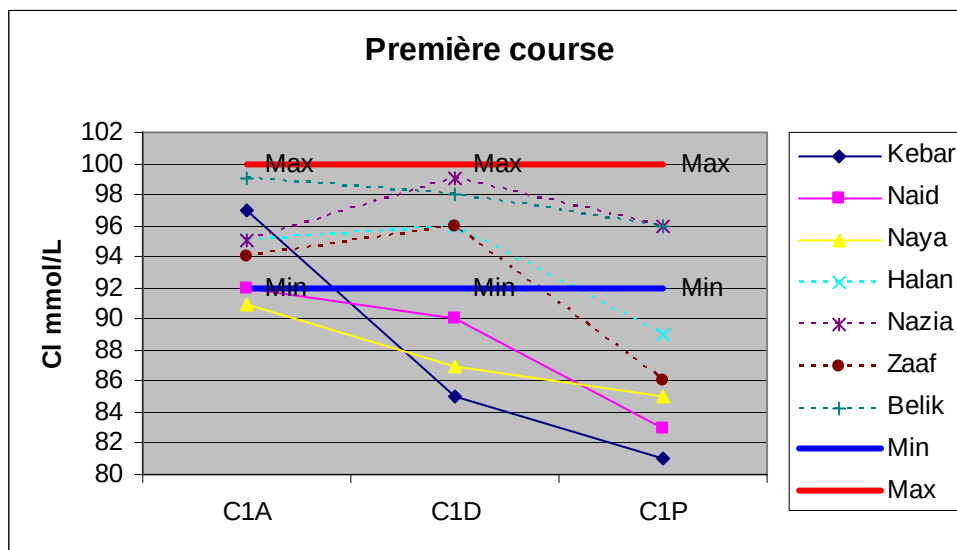
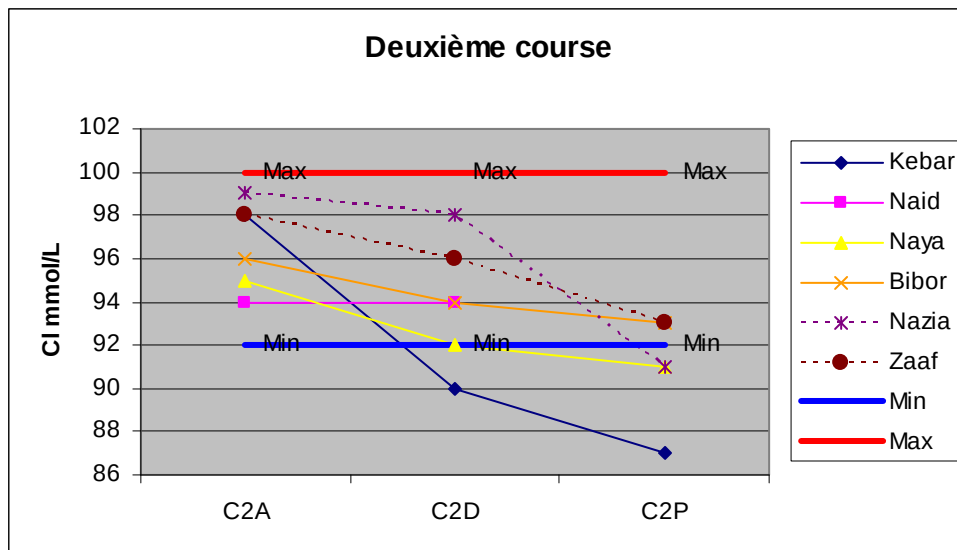


Figure 24 : Evolution de la chlorémie sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

La chlorémie diminue de manière importante au cours de l'effort pour tous les chevaux.

Dans la première partie de la course :

- la chlorémie diminue pour la moitié des chevaux de la première course et tous les chevaux de la seconde ;
- elle augmente pour les chevaux du groupe 2 ayant couru leur première course à St Galmier (Halan, Nazia, Zaaf).

Dans la seconde partie de la course, la chlorémie de tous les chevaux diminue.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs initiales observées :

- sont dans l'intervalle de référence pour la majorité des chevaux ;
- deux chevaux du groupe 1 lors de la première course sont en dessous de la valeur minimale.

En milieu de course :

- les trois chevaux du groupe 1 sont en dessous des valeurs minimales lors de la première course ;
- un cheval du groupe 1 est en dessous des valeurs de référence lors de la seconde course ;
- les autres chevaux ont des valeurs comprises dans l'intervalle de référence lors des deux courses.

A l'issue des deux courses :

- quatre chevaux ont des valeurs comprises dans l'intervalle de référence, Nazia et Belik dans la première course, Bibor et Zaaf dans la seconde ;

- les autres chevaux ont tous des chlorémies inférieures à la valeur minimale de référence.

iii Résultats statistiques

La diminution de la chlorémie est :

- significative entre le départ et l'arrivée des deux courses ;
- significative entre la mi-course et l'arrivée de la première course ;
- non significative entre la mi-course et l'arrivée de la seconde course ;
- non significative entre le départ et la mi-course pour les deux courses.

iv Bilan

L'évolution de la chlorémie pendant les courses est résumée dans le tableau 24.

Tableau 24 : Bilan de l'évolution de la chlorémie pendant les courses

Chlorémie	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	Dans les normes (=)	↓	↓	↓
Gp 2 C1	=	↑	↓	↓
Gp 1 C2	=	↓	↓	↓
Gp2 C2	=	↓	↓	↓
Bilan	=	↓ NS	↓* (C1) ↓ NS (C2)	↓*

h) Calcium

Figure 25 : Evolution de la calcémie sur la première course

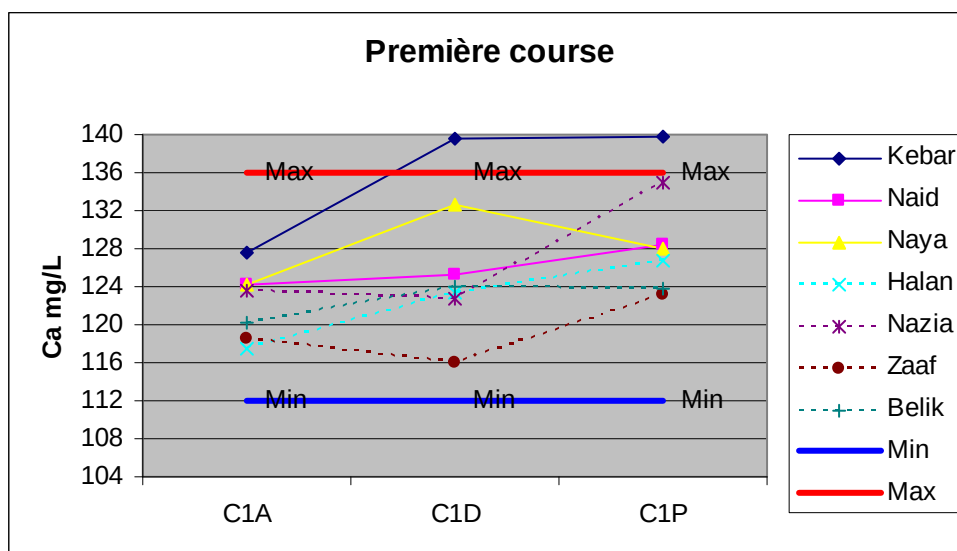
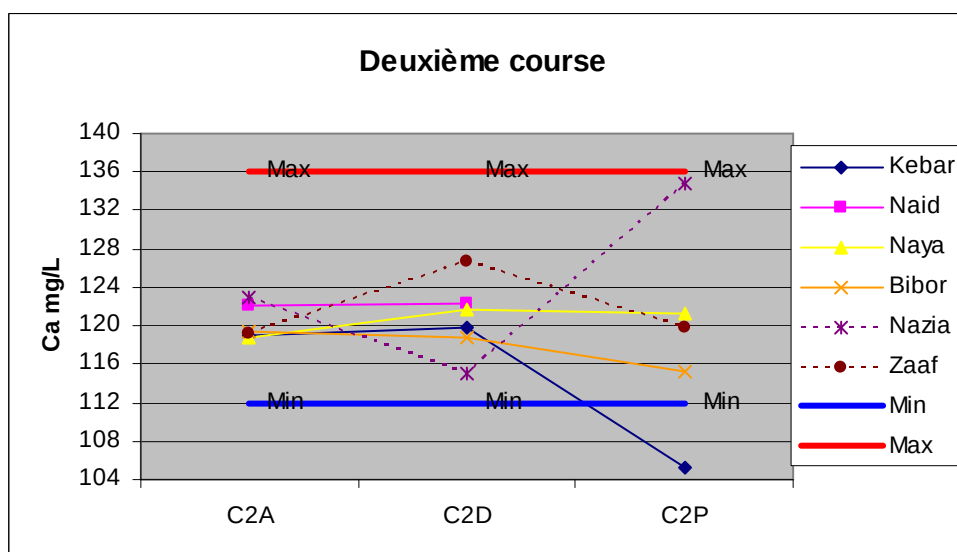


Figure 26 : Evolution de la calcémie sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

Au cours de la première course, la calcémie augmente chez tous les chevaux. Au cours de la seconde, elle augmente chez 3 chevaux.

Dans la première phase de la course, on observe :

- une augmentation de la calcémie (8 chevaux) ;
- une stabilité de la calcémie (2 chevaux) ;
- une diminution (3 chevaux appartenant tous au groupe 2).

Dans la deuxième phase de la course, on observe :

- une augmentation de la calcémie pour cinq des six des chevaux lors de la première course ;
- une augmentation pour un des cinq chevaux ayant terminé la deuxième course ;
- une diminution pour les quatre autres chevaux qui ont terminés la deuxième course.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

La calcémie mesurée est :

- dans les valeurs usuelles pour la majorité des chevaux ;
- supérieure aux valeurs de référence à la fin de la première course et une valeur inférieure à la fin de la seconde pour un cheval

iii Résultats statistiques

L'augmentation de la calcémie est significative uniquement entre le départ et l'arrivée de la première course.

iv Bilan

L'évolution de la calcémie pendant les courses est résumée dans le tableau 25.

Tableau 25 : Bilan de l'évolution de la calcémie pendant les courses

Calcémie	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	Dans les normes (=)	↑	↑	↑
Gp 2 C1	=	Variable	↑	↑
Gp 1 C2	=	Stable	↓	↓
Gp2 C2	=	↓ 1CV ↑ 1 CV	↓	↑ 1CV ↓ 1CV
Bilan	=	Variable NS	Variable NS	↑* (C1) NS (C2)

On peut regrouper les résultats obtenus sur les paramètres sanguins par le tableau 26.

Tableau 26 : récapitulatif des évolutions des paramètres sanguins étudiés pendant l'effort.

Paramètre	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Hématocrite	< NS (C1) * (C2)	Non significatif (NS)	NS	↑ * (* : significatif)
Protéines totales	> * (C1) NS (C2)	Non disponible (ND)	ND	↑ * (C1) NS (C2)
Urée	> *	ND	ND	↑ *
Créatinine	=	↑ NS (C1) ↑* (C2)	↑ NS	↑ NS (C1) ↑ * (C2)
Sodium	=	Variable NS	↓ *	↓* (C1) ↓ NS (C2)
Potassium	=	↓ NS (C1) ↓* (C2)	↑ NS (C1) ↑* (C2)	↓ NS
Chlore	=	↓ NS	↓* (C1) ↓ NS (C2)	↓*
Calcium	=	Variable NS	Variable NS	↑* (C1) NS (C2)

3. Paramètres urinaires étudiés pendant la course

Les concentrations en électrolytes (Na, K et Cl) de l'urine ont été mesurées, ce qui a permis de calculer les fractions d'excrétion, paramètre biochimique qui permet le mieux d'évaluer l'adaptation du rein à l'effort. Ainsi seule l'évolution de ce paramètre a été représentée sous forme de courbe. Les concentrations urinaires du sodium, potassium et chlore diminuent toutes au cours de la course.

La densité et le pH urinaire ont également été étudiés.

a) Créatinine urinaire

Figure 27: Evolution de la créatinine urinaire sur la première course

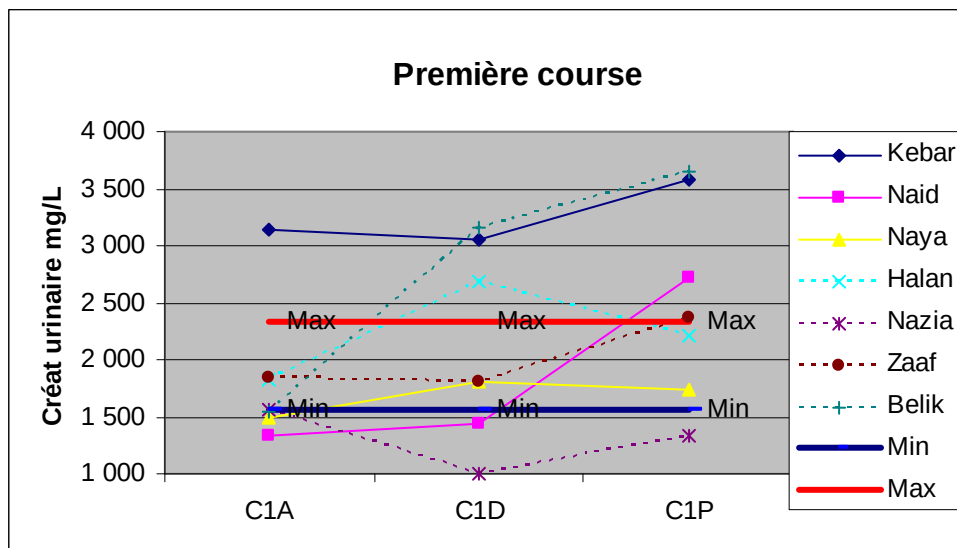
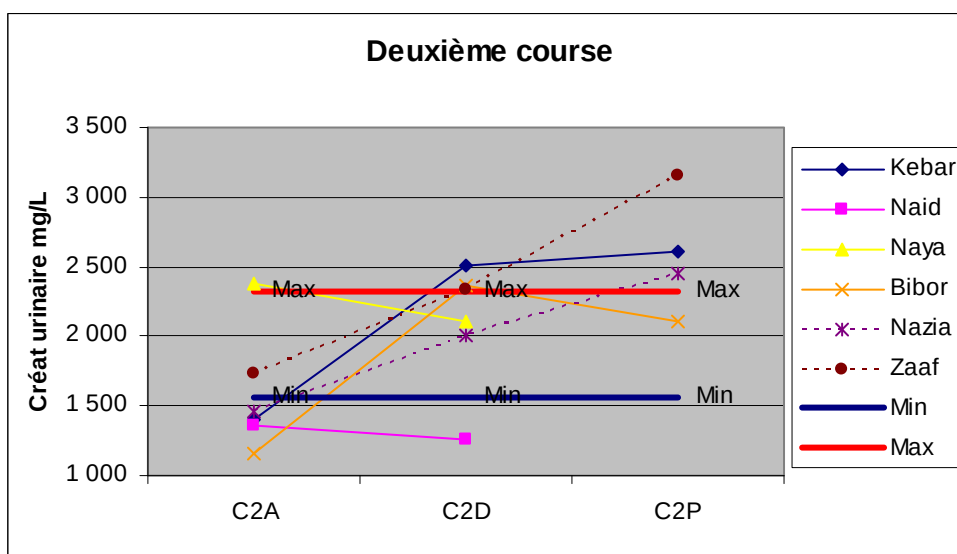


Figure 28: Evolution de la créatinine urinaire sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

La créatinine urinaire augmente lors de la course malgré quelques variations individuelles.

En première partie de course, on observe :

- une augmentation de la valeur de la créatinine pour la majorité des chevaux ;
- une diminution pour 3 chevaux sur la première course et 2 (appartenant au groupe 1) sur la deuxième course.

Dans la deuxième partie de la course :

- la créatinine urinaire augmente pour 5 des 7 chevaux de la première course et pour 3 des 4 chevaux dont nous avons obtenus des résultats pour ce paramètre en fin de la deuxième course ;
- elle diminue pour les trois autres chevaux sur cette période.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs initiales varient en fonction des individus.

Pour la première course :

- les chevaux du groupe 2 ont des valeurs comprises dans l'intervalle de référence ;
- un cheval du groupe 1 a une valeur initiale très élevée par rapport à la valeur maximale de référence ;
- les deux autres chevaux du groupe 1 sont légèrement en dessous de la valeur minimale.

Pour la deuxième course :

- un seul cheval a une valeur initiale de créatinine urinaire dans l'intervalle de référence ;
- un autre cheval a une valeur très proche mais supérieure à la valeur maximale ;
- tous les autres ont des valeurs inférieures à la valeur minimale de référence.

En milieu de course, on observe toujours une grande variété dans l'étalement des résultats.

Lors de la première course :

- deux chevaux ont des valeurs de créatinine urinaire dans les valeurs de référence ;
- deux ont des valeurs en dessous ;
- trois ont des valeurs au dessus.

Lors de la seconde course

- deux chevaux ont des valeurs de créatinine urinaire dans l'intervalle de référence ;
- deux au dessus ;
- un en dessous.

Les valeurs finales sont, elles aussi dispersées.

Pour la première course :

- quatre chevaux ont des valeurs supérieures à la valeur maximale de référence ;
- deux chevaux ont des valeurs dans l'intervalle de référence ;
- un a une valeur en dessous de la valeur minimale de référence.

Pour la seconde course :

- trois chevaux ont des valeurs supérieures à la valeur maximale de référence ;
- un seul cheval a une valeur dans l'intervalle de référence.

iii Résultats statistiques

L'augmentation de la créatinine urinaire est :

- non significative sur l'ensemble de la première course ;
- significative entre le départ et l'arrivée de la deuxième course et entre le début et la mi-course ;
- non significative entre la mi-course et l'arrivée de la deuxième course.

iv Bilan

L'évolution de la créatinine urinaire est résumée dans le tableau 27.

Tableau 27 : Bilan de l'évolution de la créatinine urinaire pendant les courses

Créatinine urinaire	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	Variable	↑	↑	↑
Gp 2 C1	=	↑ 2 CVx ↓ 2 CVx	↑	↑
Gp 1 C2	< pour 3 CVx > pour 1 CV	↑ 2 CVx ↓ 2 CVx	↑ CV ↓ 1 CV	↑
Gp2 C2	= 1 CV < 1 CV	↑	↓	↑
Bilan	Variable	↑ NS (C1) ↑ * (C2)	↑ NS (C1)	↑ NS (C1) ↑ * (C2)

b) Sodium

La clearance est obtenue à l'aide la formule suivante :

$$\frac{Cl_A}{Cl_{Cr}} = \frac{([A]_{ur}/ [A]_{sg}) \times \text{production d'urine}}{([Cr]_{ur}/ [Cr]_{sg}) \times \text{production d'urine}}$$

Figure 29 : Evolution de la clearance du sodium sur la première course

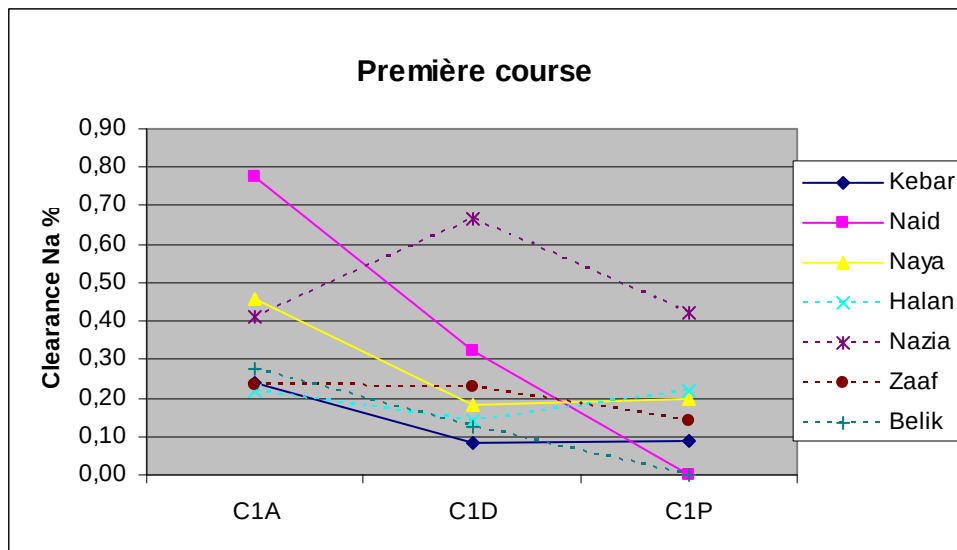
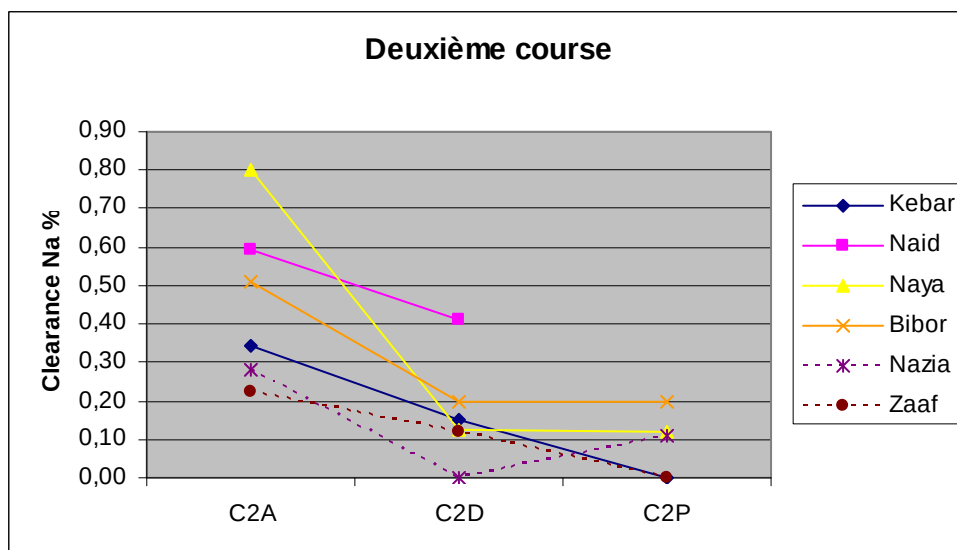


Figure 30 : Evolution de la clearance du sodium sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

Excepté pour Nazia dans la première course, la clearance du sodium diminue au cours de l'effort de manière plus ou moins prononcée en fonction des individus.

Dans la première partie de la course, la clearance du sodium diminue très fortement pour tous les chevaux sauf pour Nazia dans la première course.

Dans la seconde moitié de la course, les évolutions observées sont plus variables.

Lors de la première course :

- quatre chevaux ont leur clearance qui continue à baisser ;

- deux ont des valeurs assez stables ;
- un seul montre une légère augmentation.

On retrouve cette répartition dans la seconde partie de la deuxième course :

- deux chevaux ont une clearance qui continue à baisser ;
- deux sont stables ;
- un a une clearance qui augmente légèrement.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs sont toutes comprises dans l'intervalle de référence (0,02-1,0 %).

iii Résultats statistiques

La diminution de la clearance du sodium est :

- significative entre le départ et l'arrivée des deux courses ;
- non significative entre le départ et le milieu de la première course ;
- significative entre le départ et le milieu de la deuxième course ;
- non significative entre la mi-course et l'arrivée des deux courses.

iv Bilan

L'évolution de la clearance du sodium est résumée dans le tableau 28.

Tableau 28 : Bilan de l'évolution de la clearance du sodium pendant les courses

Clearance du sodium	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	=	↓	↓ 1 CV Stable 2 CVx	↓
Gp 2 C1	=	↓	↓	↓
Gp 1 C2	=	↓	↓ 1 CV Stable 2 CVx	↓
Gp2 C2	=	↓	↓ 1 CV ↑ 1 CV	↓
Bilan	=	↓ NS (C1) ↓ * (C2)	↓ NS	↓*

c) Potassium

Figure 31 : Evolution de la clearance du potassium sur la première course

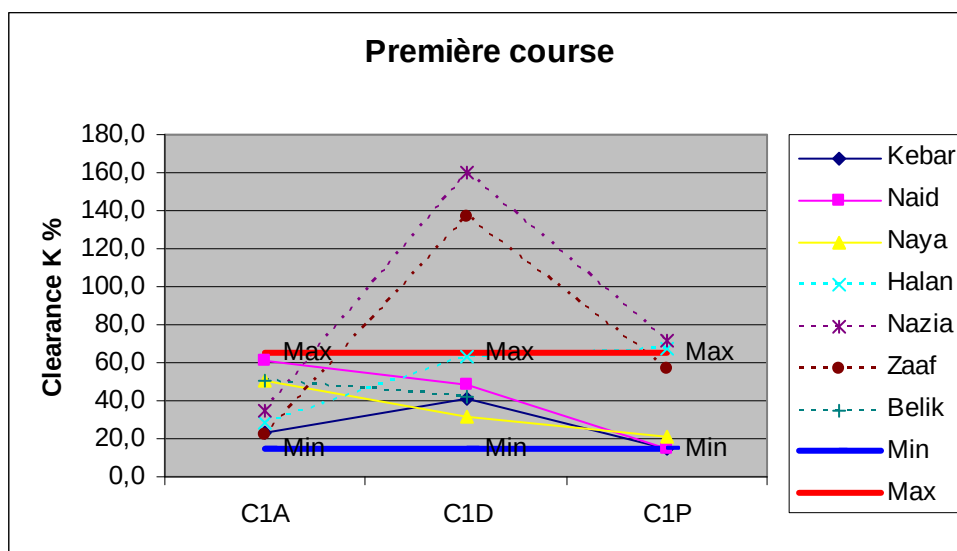
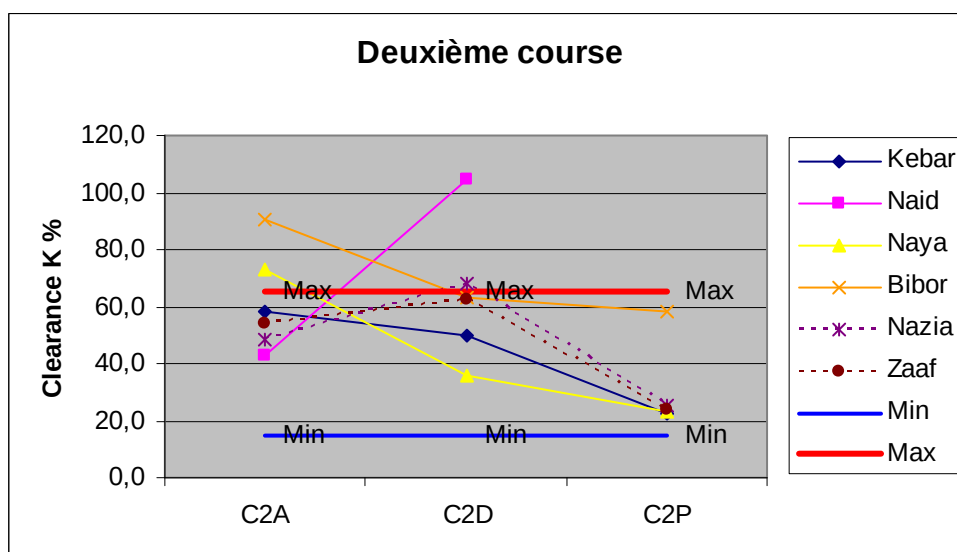


Figure 32 : Evolution de la clearance du potassium sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

La clearance du potassium diminue pour les chevaux du groupe 1 sur la première course et pour tous les chevaux qui ont terminé la deuxième course.

Dans la première partie de la course :

- la clearance du potassium augmente pour quatre des sept chevaux de la première course et pour la moitié des chevaux de la deuxième course ;
- elle diminue pour les autres.

Dans la seconde partie de la course, la clearance diminue pour tous les chevaux sauf un dans la première course.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs initiales sont toutes comprises dans l'intervalle de référence sauf pour deux chevaux du groupe 1 au départ de la deuxième course qui ont des valeurs supérieures.

En milieu de course, deux chevaux du groupe 2 dans la première course ont des valeurs de clearance supérieures à la valeur maximale de référence.

Dans la seconde course, un seul cheval est au dessus de cette valeur alors que ceux qui étaient initialement trop élevés sont rentrés dans l'intervalle.

iii Résultats statistiques

La variation de la clearance du potassium est :

- non significative entre toutes les données sur la première course ;
- significative entre toutes les données sur la seconde course.

iv Bilan

L'évolution de la clearance du potassium est résumée dans le tableau 29.

Tableau 29 : Bilan de l'évolution de la clearance du potassium pendant les courses

Clearance du potassium	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	=	↓ 2 CV _x ↑ CV	↓	↓
Gp 2 C1	=	↓ 1 CV ↑ 3 CV _x	↓	↑
Gp 1 C2	= 2 CV _x > 2 CV _x	↓ 3 CV _x ↑ 1 CV	↓	↓
Gp2 C2	=	↑	↓	↓
Bilan	=	↑ NS (C1) ↑ * (C2)	↓ NS (C1) ↓ * (C2)	↓ NS (C1) ↓ * (C2)

d) Chlore

Figure 33 : Evolution de la clearance du chlore sur la première course

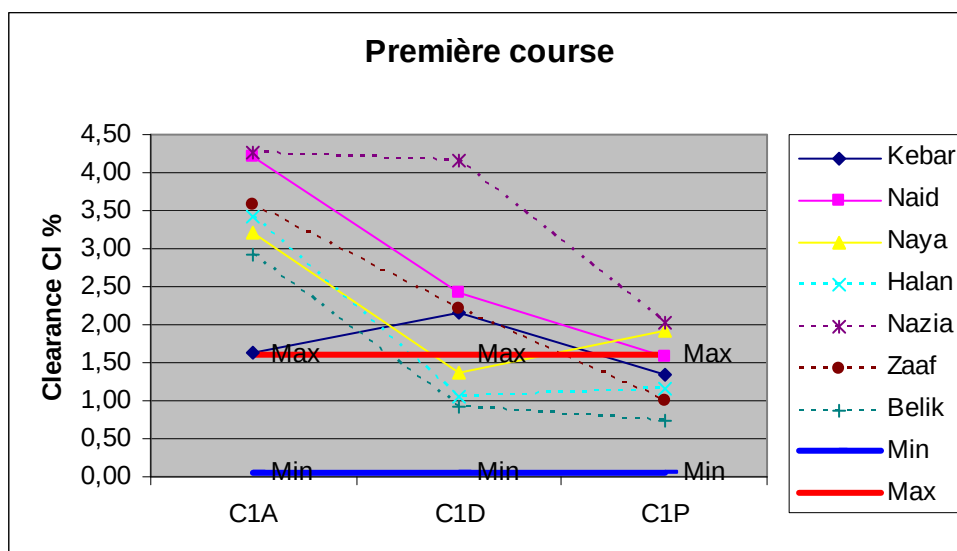
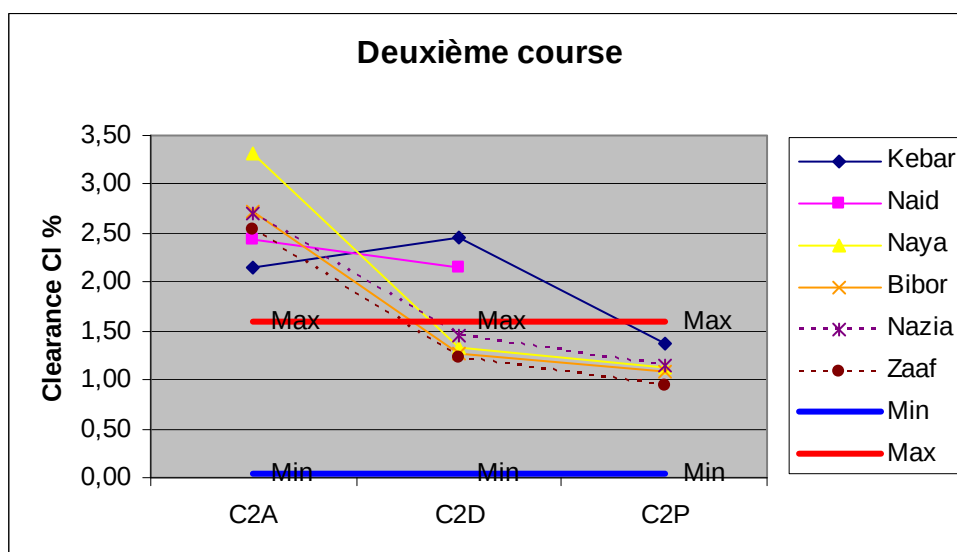


Figure 34 : Evolution de la clearance du chlore sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

La clearance du chlore diminue de façon prononcée au cours de l'effort.

En première partie de la course, la clearance diminue pour tous les chevaux sauf Kebar dont la clearance du chlore augmente sur les deux courses.

En deuxième partie de la course, elle diminue pour tous les chevaux sauf pour Naya sur la première course.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs initiales sont toutes au dessus de la valeur maximale de référence.

En milieu de course :

- la moitié des chevaux sur la première course et quatre des six chevaux de la deuxième course se situent dans l'intervalle de référence
- les autres ont encore des valeurs élevées

En fin de course, seuls deux chevaux dans la première course ont encore des valeurs supérieures à la valeur de référence.

iii Résultats statistiques

La diminution de la clearance du chlore est :

- significative entre le départ et l'arrivée des deux courses et entre le départ et la mi-course ;
- non significative entre la mi-course et l'arrivée dans les deux courses.

iv Bilan

L'évolution de la clearance du chlore est résumée dans le tableau 30.

Tableau 30 : Bilan de l'évolution de la clearance du chlore pendant les courses

Clearance du chlore	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	>	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	↓
Gp 2 C1	>	↓	↓ 3 CVx ↑ 1 CV	↓
Gp 1 C2	>	↓ 3 CVx ↑ 1 CV	↓	↓
Gp2 C2	>	↓	↓	↓
Bilan	>*	↓*	↓NS	↓*

e) pH urinaire

Figure 35 : Evolution du pH urinaire sur la première course

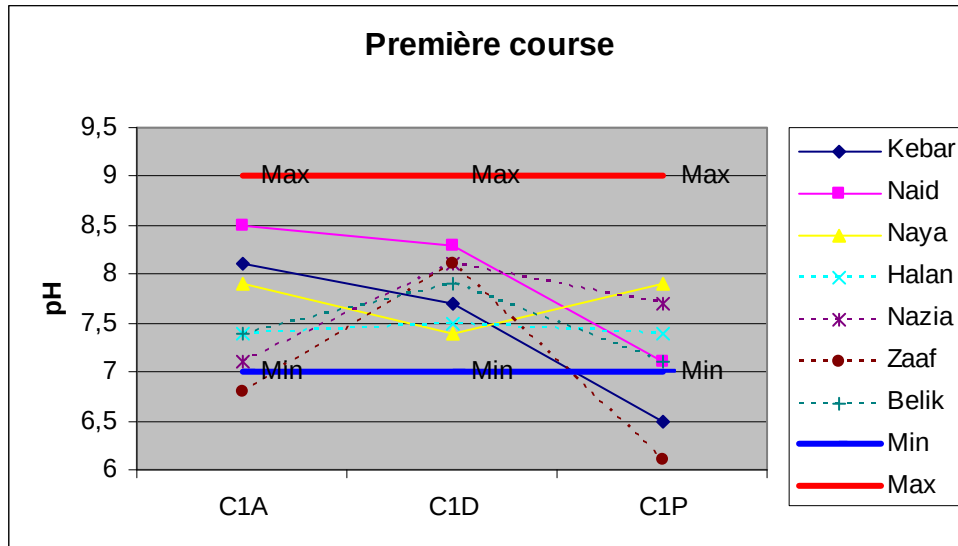
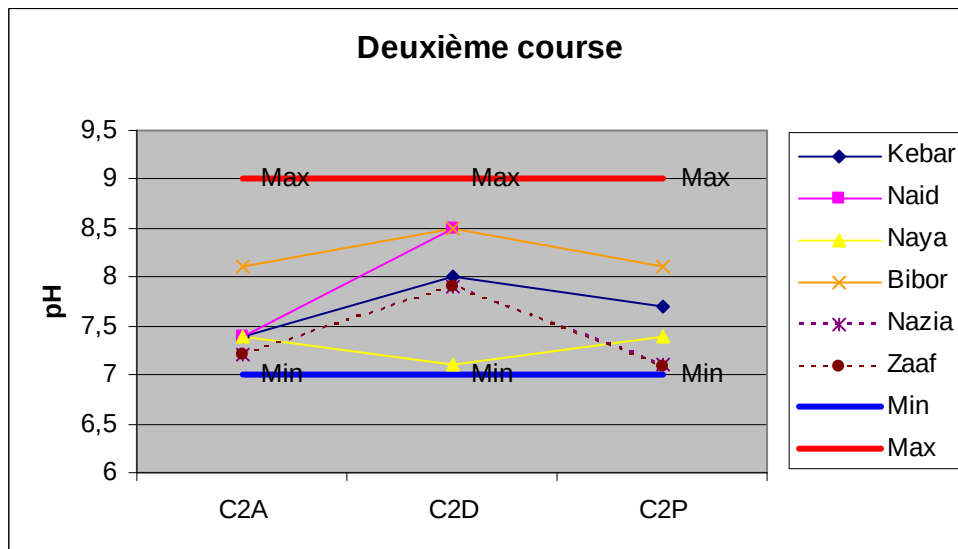


Figure 36 : Evolution du pH urinaire sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

Le pH urinaire varie peu au cours de la course et les variations sont différentes selon les chevaux.

Lors de la première partie la première course :

- le pH urinaire augmente pour les chevaux du groupe 2 ;
- il diminue pour ceux du groupe 1.

Lors de la première partie de la seconde course, il augmente pour tous les chevaux sauf un.

La seconde partie de la course montre une diminution du pH urinaire sauf pour Naya dont le pH augmente sur cette période dans les deux courses.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs initiales de pH sont dans les valeurs de référence sauf pour un cheval dont le pH est un peu bas.

En milieu de course, toutes les valeurs sont comprises dans l'intervalle de référence.

Les valeurs finales se situent également dans cet intervalle sauf pour deux chevaux lors de la première course qui ont un pH légèrement en dessous des valeurs de référence.

iii Résultats statistiques

Les variations du pH urinaire ne sont pas significatives au cours des courses sauf entre le départ et la mi-course de la deuxième course où le pH augmente.

iv Bilan

L'évolution du pH est résumée dans le tableau 31.

Tableau 31 : Bilan de l'évolution du pH urinaire pendant les courses

pH urinaire	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	=	↓	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	Variable
Gp 2 C1	=	↑	↓	Variable
Gp 1 C2	=	↑ 3 CVx ↓ 1 CV	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	Stable
Gp2 C2	=	↑	↓	Stable
Bilan	=	↑ NS (C1) ↑ * (C2)	↓NS	Stable NS

f) Densité urinaire

Figure 37 : Evolution de la densité urinaire sur la première course

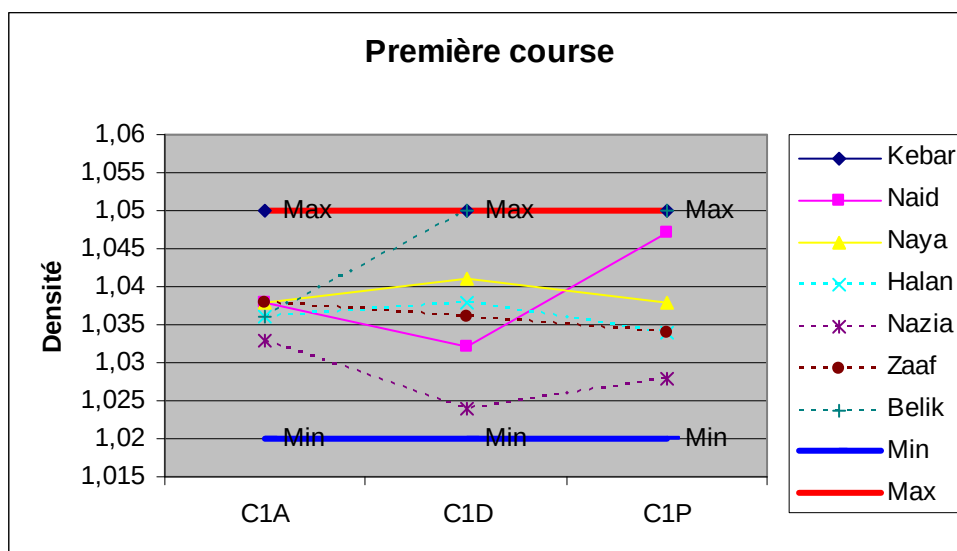
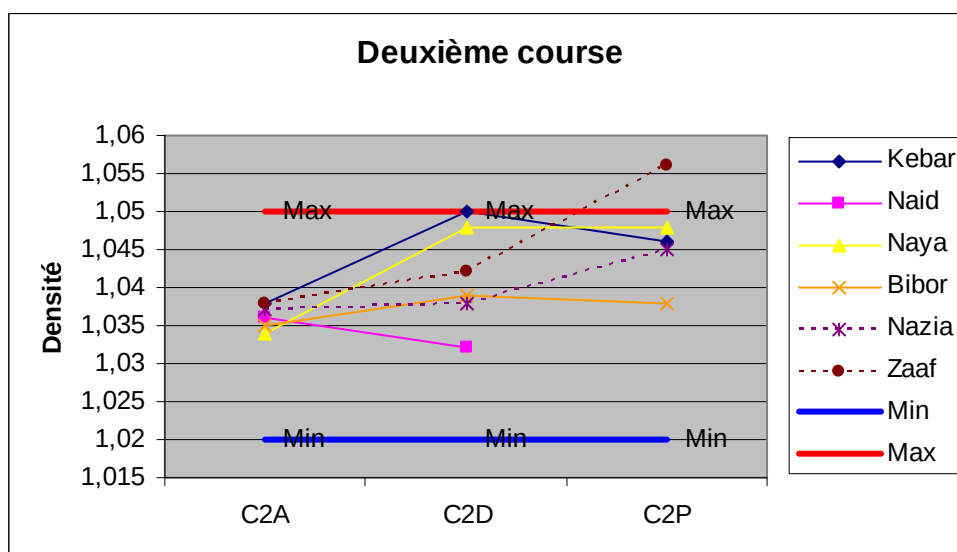


Figure 38 : Evolution de la densité urinaire sur la deuxième course



i Evolution pendant la course

La densité urinaire évolue de façon différente en fonction des chevaux mais pour la majorité, elle augmente au cours de la course.

Dans la première partie de la course :

- la densité augmente pour quatre chevaux sur la première course et pour cinq dans la seconde ;
- elle diminue pour les autres.

Dans la seconde partie de la course, la densité augmente pour seulement trois chevaux dans la première course et deux dans la seconde.

ii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs se situent dans l'intervalle des valeurs de référence au cours de l'effort avec seulement quelques individus ayant des valeurs hautes (Kebars et Belik) voire dépassant la valeur maximale de référence en fin de course (Zaaf).

iii Résultats statistiques

Aucun test statistique n'a été réalisé pour ce paramètre en raison de l'imprécision des résultats. En effet, lorsque la densité obtenue est supérieure à 1,05 on ne peut pas connaître précisément sa valeur par la méthode employée.

iv Bilan

L'évolution de la densité urinaire est résumée dans le tableau 32.

Tableau 32 : Bilan de l'évolution de la densité urinaire pendant les courses

Densité urinaire	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Gp 1 C1	=	↓ 1 CV ↑ 1 CV	↓ 1 CV ↑ 1 CV	Stable
Gp 2 C1	=	↑ 2 CVx ↓ 2 CVx	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	↓
Gp 1 C2	=	↑ 3 CVx ↓ 1 CV	↑ 2 CVx Stable 1 CV	↑
Gp2 C2	=	↑	↑	↑
Bilan	=	Variable	↑	Variable

On peut regrouper les résultats obtenus sur les paramètres urinaires par le tableau 33.

Tableau 33 : Récapitulatif de l'évolution des paramètres urinaires obtenus pendant l'effort

Paramètres	Valeurs avant course/ Norme	Avant course/ Mi course	Mi course/ Fin de course	Fin course/ Avant course
Créatinine urinaire	Variable	↑ NS (C1) ↑ * (C2)	↑ NS (C1)	↑ NS (C1) ↑ * (C2)
Clearance sodium	=	↓ NS (C1) ↓ * (C2)	↓ NS	↓ *
Clearance potassium	=	↑ NS (C1) ↑ * (C2)	↓ NS (C1) ↓ * (C2)	↓ NS (C1) ↓ * (C2)
Clearance chlore	>*	↓ *	↓ NS	↓ *
pH	=	↑ NS (C1) ↑ * (C2)	↓ NS	Stable NS
Densité	=	Variable	↑	Variable

B. L'effet de l'entraînement sur les paramètres sanguins et urinaires

Le suivi des chevaux du protocole au cours de la saison 2008 a permis d'étudier les évolutions des différents paramètres du statut hydro électrolytique des chevaux d'endurance avec l'entraînement. Rappelons que le premier test d'effort L1 s'est déroulé après 8 semaines d'entraînement, la biopsie musculaire 10 jours avant la course (≈ 10 semaines d'entraînement) et la course se déroulant après 11 semaines entraînement. La deuxième phase d'entraînement a suivi le même rythme.

1. Les paramètres sanguins

a) Hématocrite

Figure 39 : Evolution de l'hématocrite sur l'ensemble de la période d'entraînement pour chaque cheval

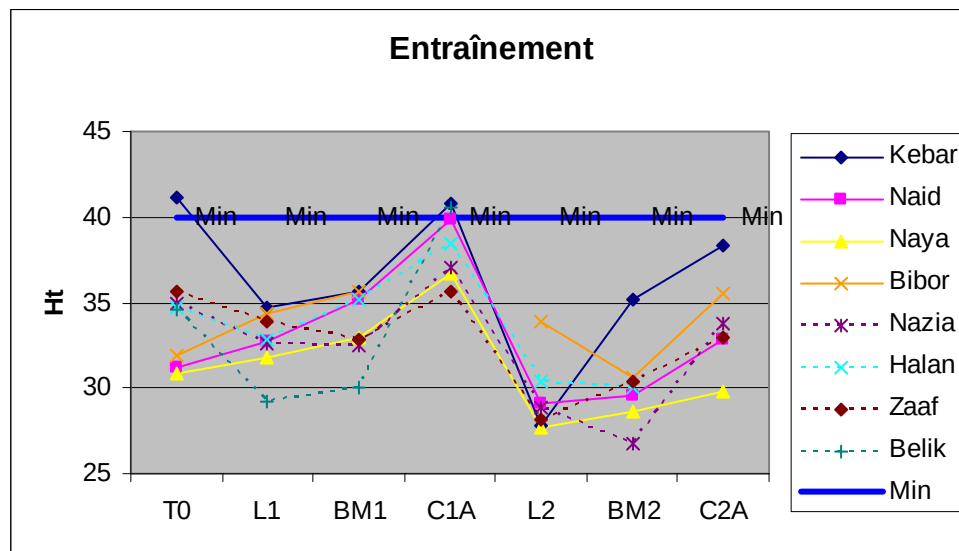
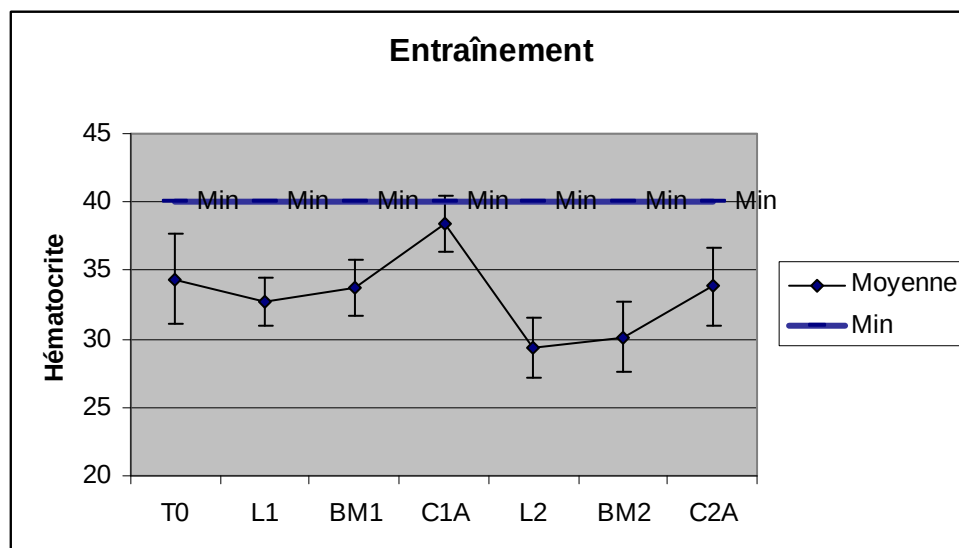


Figure 40 : Evolution de l'hématocrite sur la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole (valeur moyenne et écart type)



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

L'hématocrite a tendance à diminuer au cours de la saison pour tous les chevaux. Il diminue entre T0 et L1 et entre L1 et L2. En revanche, il remonte légèrement entre L1 et BM1 et L2 et BM2.

A l'issue de la première période entraînement (8 semaines entre T0 et L1), on observe :

- une diminution de l'hématocrite chez les chevaux du groupe 2 et un cheval du groupe 1 ;
- une augmentation de ce paramètre chez les autres membres du groupe 1.

A l'issue des 10 premières semaines d'entraînement (T0-BM1):

- la moitié des chevaux ont une diminution de l'hématocrite par rapport à T0;
- l'autre moitié une augmentation.

Lors de la deuxième période d'entraînement :

- les valeurs de l'hématocrite sont inférieures aux valeurs initiales ;
- l'hématocrite continue de diminuer pour trois chevaux ;
- elle augmente chez les autres chevaux.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

Les valeurs mesurées en compétition sont supérieures aux valeurs mesurées à l'entraînement.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

L'hématocrite de tous les chevaux est inférieur à la valeur de référence minimale, excepté pour 1 cheval (Kebars).

iv Résultats statistiques

Un test t student, bilatéral apparié a été appliqué aux données :

- T0 a été comparé à toutes les valeurs de l'entraînement,
- L1 a été comparée à BM1 puis à L2 (deuxième période d'entraînement),
- l'effet du transport a été étudié en analysant les données entre L1 et la 1^{ère} course et L2 et la 2^{ème} course.

Pour l'hématocrite on obtient :

- Comparaison par rapport à T0
 - pas de différence significative avec L1, BM1 (augmentation pour la moitié des chevaux, diminution pour l'autre) ;
 - pas de différence significative avec C2A (augmentation de l'hématocrite);
 - différence significative avec C1A (augmentation de l'hématocrite) ;
 - différence significative avec L2 et BM2 (diminution de l'hématocrite).
- Comparaison entre les périodes d'entraînement
 - La diminution n'est pas significative entre L1 et BM1 ;
 - La diminution est significative en comparant les deux périodes d'entraînement (L1/L2 et L1/BM2).

- Effet du transport

L'augmentation est significative lors des deux courses.

v Bilan

Le tableau 34 regroupe l'effet de l'entraînement sur l'hématocrite.

Tableau 34 : Evolution de l'hématocrite au cours de l'entraînement.

Ht	1 ^{ère} période T0-L1	1 ^{ère} période L1- BM1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑ 3 CVx ↓ 1 CV	↑	↓	↑
Gp2	↓	↓ 3 CVx ↑ 1 CV	↓	↑
Bilan	↓ NS	↑ NS	↓ *	↑ *

b) Protéines totales

Figure 41 : Evolution des protéines totales sur l'ensemble de la période d'entraînement pour chaque cheval

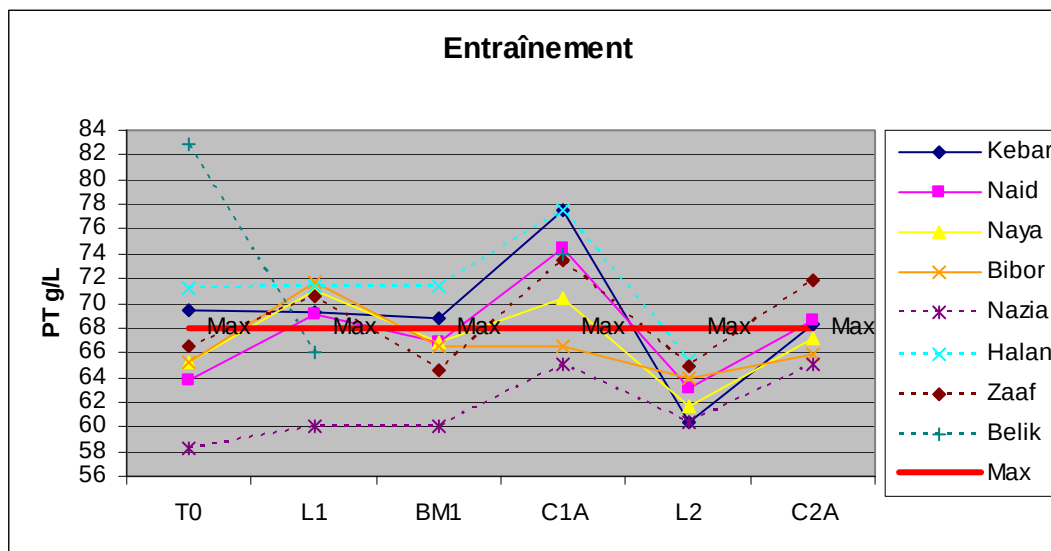
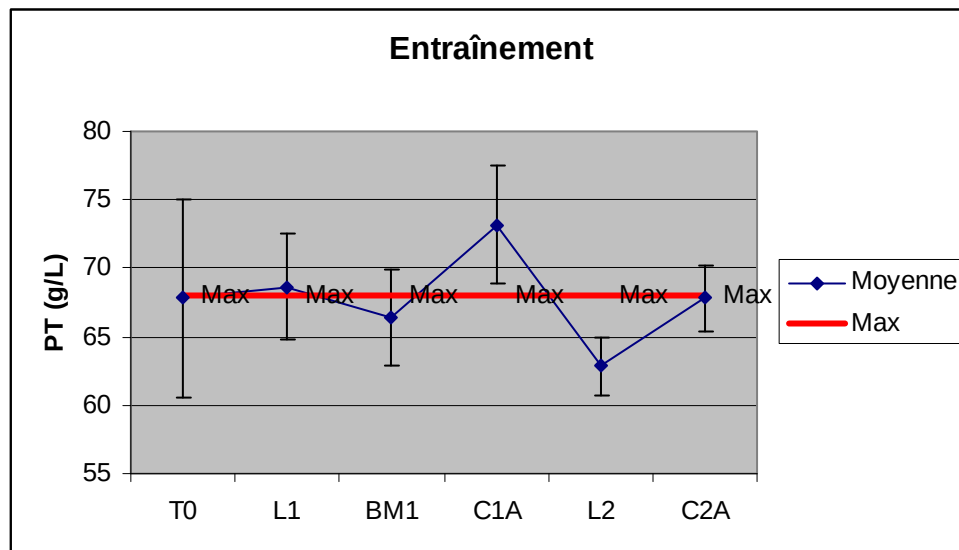


Figure 42 : Evolution des protéines totales sur la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole (valeur moyenne et écart type)



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

Les protéines totales évoluent peu au cours de la saison bien qu'elles diminuent entre T0 et L2.

Pendant les 8 premières semaines d'entraînement :

- elles augmentent pour cinq chevaux ;
- elles restent stables pour deux chevaux ;
- elles diminuent pour un seul cheval.

A l'issue de la première période d'entraînement, les valeurs en protéines totales plasmatiques sont pratiquement identiques à celles mesurées au début de cette période.

A l'issue de la deuxième période d'entraînement, la protéinémie est inférieure à celle mesurée en début de saison.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

Comme pour l'hématocrite, les valeurs obtenues sur le site de la course sont plus élevées que celles obtenues pendant l'entraînement.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs, lorsqu'elles se situent dans l'intervalle des valeurs de référence, sont proches de la valeur maximale.

- A T0, 3 chevaux sont au dessus des valeurs de références ;
- A L1 comme à C1A, 6 chevaux sur 8 sont au dessus des valeurs de référence ;
- A BM1 et C2A deux chevaux seulement sont au dessus de ces valeurs.

iv Résultats statistiques

L'étude statistique de l'évolution des protéines totales donne les résultats suivants :

- Comparaison par rapport à T0
- La légère augmentation observée en L1 et C2A ainsi que la diminution en BM1 ne sont pas significatives ;
- L'augmentation est significative pour C1A ainsi que la diminution en L2.

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

La diminution observée entre L1/BM1 et L1/L2 est significative.

- Effet du transport

L'augmentation est significative lors des deux courses par rapport aux valeurs de L1 et L2.

v Bilan

Le tableau 35 regroupe l'effet de l'entraînement sur les protéines totales.

Tableau 35 : Evolution des protéines totales au cours de l'entraînement.

PT	1 ^{ère} période T0-L1	1 ^{ère} période L1- BM1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑ 3 CVx Stable 1 CV	↓	↓	↑
Gp2	Variable	↓	↓	↑
Bilan	↑ NS	↓*	↓*	↑*

c) Urée

Figure 43 : Evolution de l'urémie sur l'ensemble de la période d'entraînement

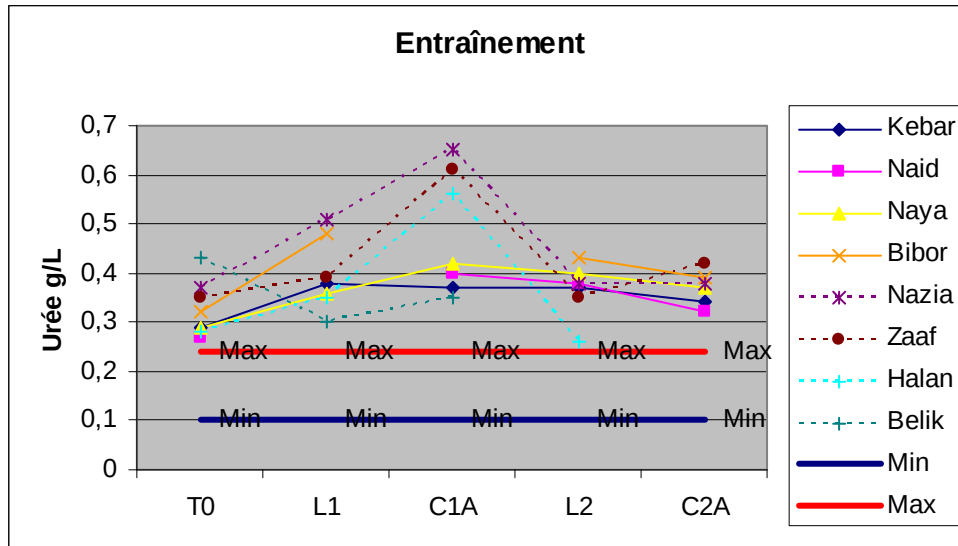
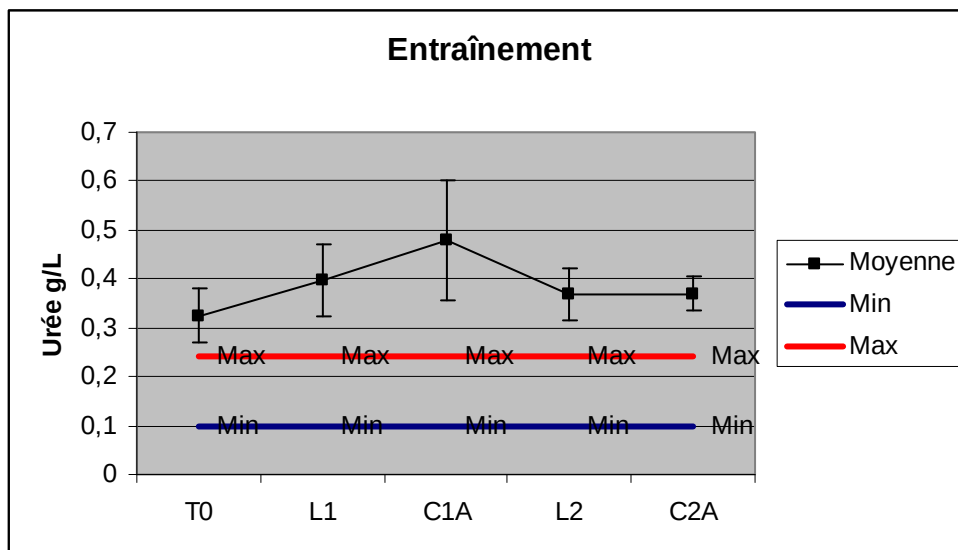


Figure 44 : Evolution de l'urémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

L'urée plasmatique augmente légèrement au cours de la saison.

Tous les chevaux sauf Belik montrent une augmentation de l'urée plasmatique au cours de la première phase d'entraînement.

Lors de la deuxième phase d'entraînement, les valeurs sont un peu plus élevées qu'au début de la saison.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

L'urémie plasmatique mesurée lors de la première course est supérieure à celle mesurée à l'entraînement, et ce d'autant plus pour les chevaux du groupe 2. Les valeurs mesurées lors de la seconde course sont assez proches de celles mesurées à l'entraînement. Cependant, les chevaux ont eu, à cette occasion, une journée de repos en plus entre le transport et la prise de sang.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Tout au long de la saison, les valeurs de l'urée plasmatique sont supérieures à la valeur maximale de référence.

iv Résultats statistiques

L'évolution de l'urémie donne les résultats statistiques suivants :

- Comparaison par rapport à T0
 - L'augmentation en L1 n'est pas significative ;
 - L'augmentation est significative en C1A et C2A, ainsi que la diminution en L2.

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

L'augmentation observée entre L1 et L2 n'est pas significative.

- Effet du transport

L'augmentation de l'urémie est significative lors de la première course mais pas lors de la deuxième

v Bilan

Le tableau 36 regroupe l'effet de l'entraînement sur l'urémie.

Tableau 36 : Evolution de l'urémie au cours de l'entraînement.

Urée	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑	↓	Variable (C1) ↓ (C2)
Gp2	↑ sauf 1 CV	↓	↑ (C1) Variable (C2)
Bilan	↑ NS	↓ NS	↑* (C1) Stable NS (C2)

d) Créatinine

Figure 45 : Evolution de la créatinémie sur l'ensemble de la période d'entraînement

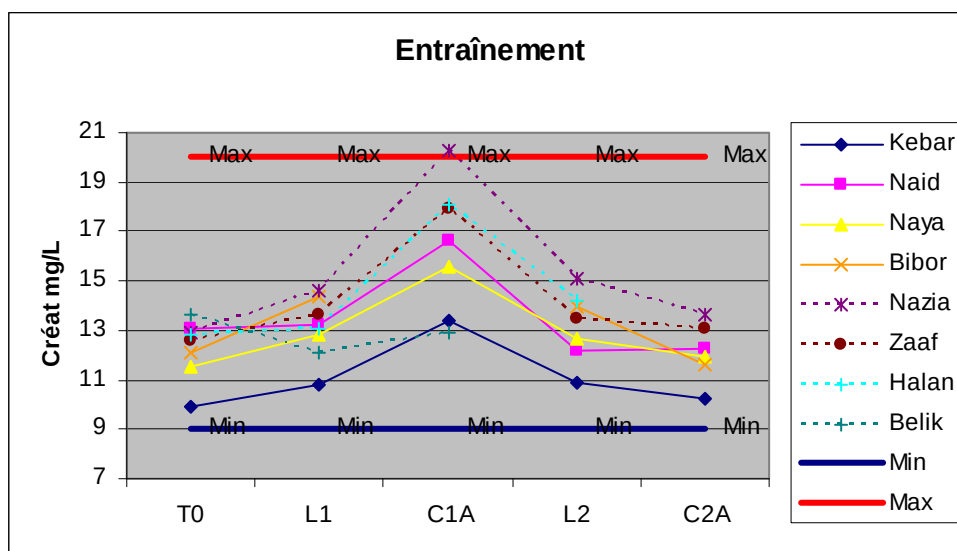
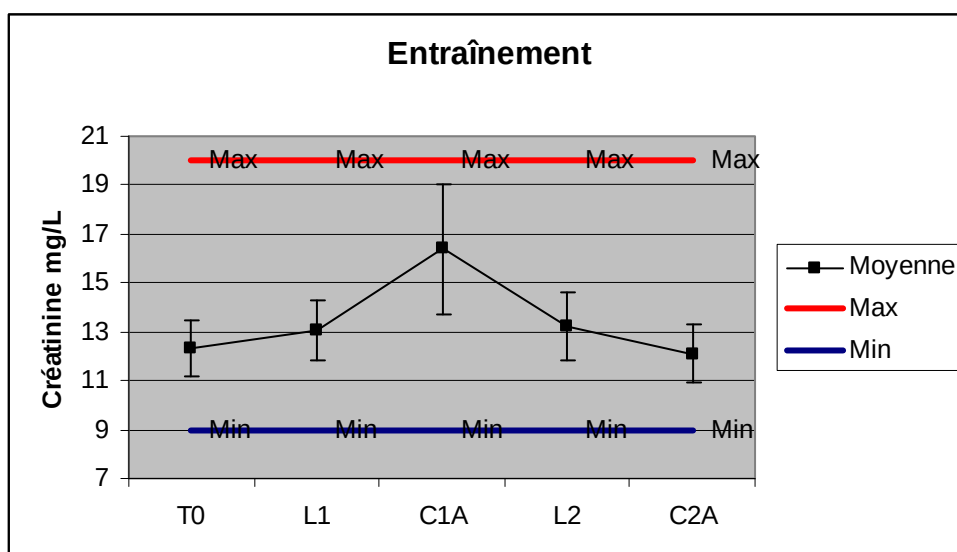


Figure 46 : Evolution de la créatinémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

On observe une augmentation de la créatinine plasmatique au cours de la saison. Au cours de la première période d'entraînement, la créatinine augmente.

Lors de la deuxième période d'entraînement, on observe :

- aucune modification pour la plupart des chevaux ;
- une légère augmentation pour 2 chevaux (Nazia et Halan) ;

- une légère diminution pour 1 cheval (Naya).

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

La valeur de créatinine plasmatique mesurée lors de la première course est supérieure à celle mesurée à l'entraînement. La valeur de créatinine plasmatique mesurée lors de la seconde course est inférieure à celle mesurée à l'entraînement.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Tout au long de la saison, les valeurs sont comprises dans l'intervalle de valeurs de référence sauf pour Nazia avant la première course.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la créatinémie donne les résultats statistiques suivants

- Comparaison par rapport à T0
 - pas de différence significative avec L1 et C2A ;
 - différence significative avec C1A et L2.

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

L'évolution observée au cours de la période d'entraînement n'est pas significative.

- Effet du transport

La différence est significative lors des deux courses.

v Bilan

Le tableau 37 regroupe l'effet de l'entraînement sur la créatinémie.

Tableau 37 : Evolution de la créatinémie au cours de l'entraînement.

Créatinine	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑	↓	↑ (C1) ↓ (C2)
Gp2	↑ 2 CVx ↓ 2 CVx	↑ 2 CVx ↓ 1 CV	↑ (C1) ↓ (C2)
Bilan	↑ NS	↑ NS	↑* (C1) ↓* (C2)

e) Sodium

Figure 47: Evolution de la natrémie sur l'ensemble de la période d'entraînement

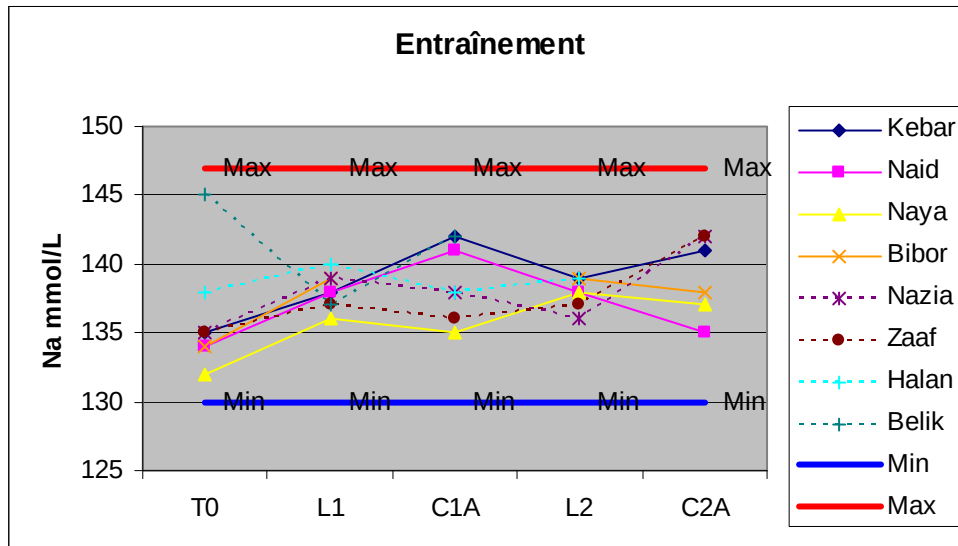
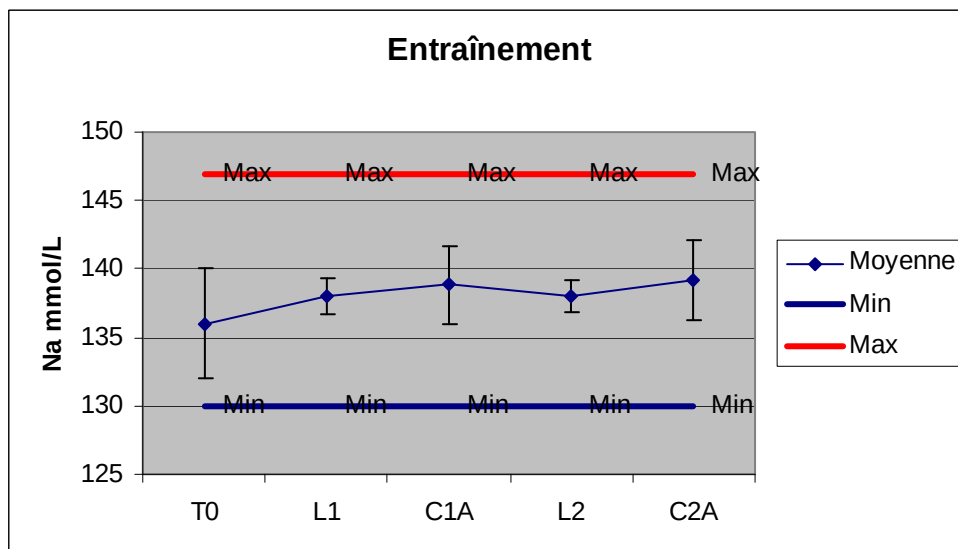


Figure 48 : Evolution de la natrémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

La natrémie augmente légèrement au cours de la saison.

Au cours des huit premières semaines d'entraînement, on observe :

- une augmentation de la natrémie pour tous les chevaux sauf un ;
- une diminution de la natrémie de Belik mais sa natrémie correspond ainsi à celles des autres chevaux.

Aucune modification de la natrémie n'est notée lorsque les deux périodes d'entraînement sont comparées.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

Les prélèvements réalisés sur les sites des courses indiquent :

- une légère augmentation de la natrémie pour l'ensemble des chevaux ;
- une augmentation de la natrémie par comparaison aux valeurs mesurées à l'entraînement pour deux chevaux lors de la première course et trois lors de la seconde ;
- une diminution de la natrémie par comparaison aux valeurs mesurées à l'entraînement pour quatre chevaux lors de la première course et trois lors de la seconde.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Tout au long de la saison, les valeurs restent dans l'intervalle de référence.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la natrémie donne les résultats statistiques suivants :

- Comparaison par rapport à T0
 - une augmentation non significative en L1 et C1A ;
 - une augmentation significative en L2 et C2A.

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

L'augmentation observée au cours de la période d'entraînement n'est pas significative.

- Effet du transport

Il n'y a pas d'augmentation significative avec le transport.

v Bilan

Le tableau 38 regroupe l'effet de l'entraînement sur la natrémie.

Tableau 38 : Evolution de la natrémie au cours de l'entraînement.

Natrémie	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑	Variable	↑ (C1) ↓ (C2)
Gp2	↑ 3 CVx ↓ 1 CVx	Variable	↓ (C1) ↑ (C2)
Bilan	↑ NS	Stable NS	↑ NS

f) Potassium

Figure 49 : Evolution de la kaliémie sur l'ensemble de la période d'entraînement

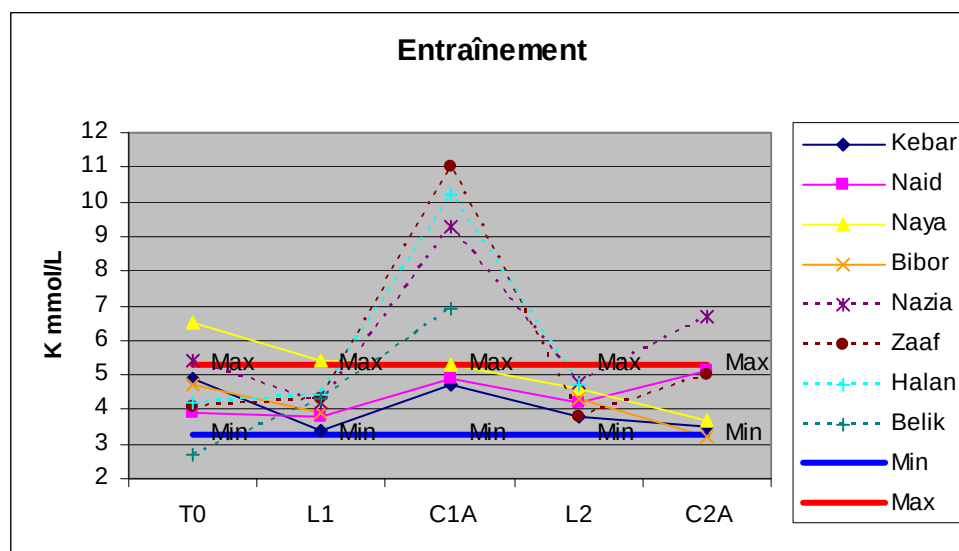
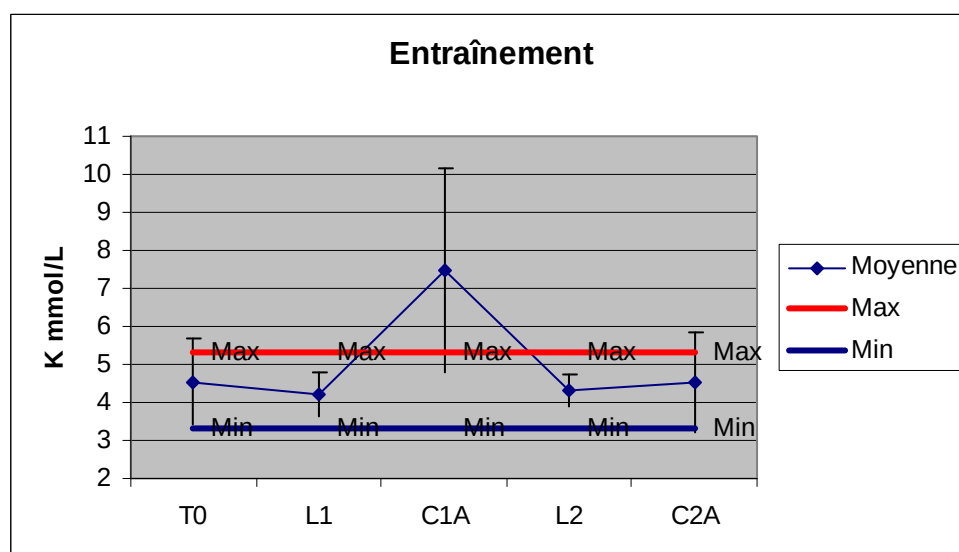


Figure 50 : Evolution de la kaliémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

La kaliémie a tendance à diminuer au cours de la saison.

Au cours de la première phase entraînement, on observe :

- une diminution de la kaliémie pour quatre chevaux ;
- une augmentation pour un cheval ;
- une stabilité pour trois chevaux.

Les valeurs de kaliémie mesurées au cours des deux phases d'entraînement sont semblables.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

Les prélèvements réalisés sur les sites des courses indiquent :

- une augmentation plus marquée pour le groupe 2 que pour le groupe 1 lors de la première course ;
- une augmentation pour la moitié des chevaux sur la deuxième course ;
- une diminution pour l'autre moitié.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

A T0 :

- les kaliémies de tous les chevaux sauf 2 sont comprises dans l'intervalle de référence ;
- un cheval est au dessus des valeurs usuelles ;
- un second cheval est en dessous des valeurs usuelles.

Lors des tests longs L1 et L2, tous les chevaux ont des valeurs de kaliémie comprises dans l'intervalle de référence.

Sur le site de la première course :

- les chevaux du groupe 2 ont une valeur de kaliémie supérieure aux valeurs usuelles ;
- les chevaux du groupe 1 ont une valeur de kaliémie comprise dans l'intervalle de référence, tout en restant proche des valeurs maximales de référence.

Sur le site de la deuxième course, un seul cheval est à une valeur de kaliémie supérieure aux valeurs de référence.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la kaliémie donne les résultats statistiques suivants :

- Comparaison par rapport à T0
 - La diminution en L1 et L2 n'est pas significative ainsi que l'augmentation en C2A ;
 - l'augmentation en C1A est significative.

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

La légère diminution observée au cours de la période d'entraînement n'est pas significative.

- Effet du transport

L'augmentation de la kaliémie est significative sur la première course. Au contraire, l'augmentation sur la deuxième course n'est pas significative.

v Bilan

Le tableau 39 regroupe l'effet de l'entraînement sur la kaliémie.

Tableau 39 : Evolution de la kaliémie au cours de l'entraînement.

Kaliémie	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↓	Stable	↑ (C1) ↓ (C2)
Gp2	↑ 3 CVx ↓ 1 CVx	Stable	↑ (C1) ↑ (C2)
Bilan	↓ NS	Stable NS	↑ * (C1) ↑ NS (C2)

g) Chlore

Figure 51 : Evolution de la chlorémie sur l'ensemble de la période d'entraînement

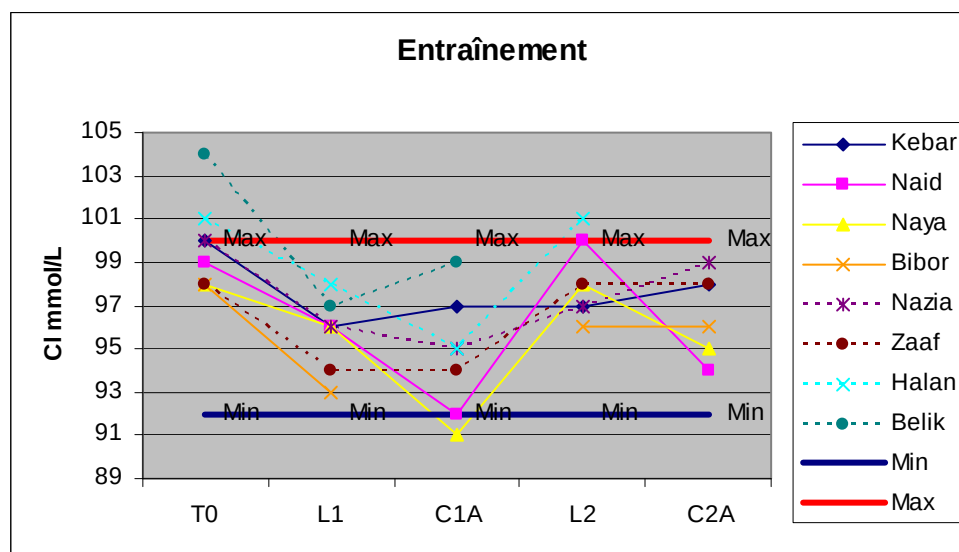
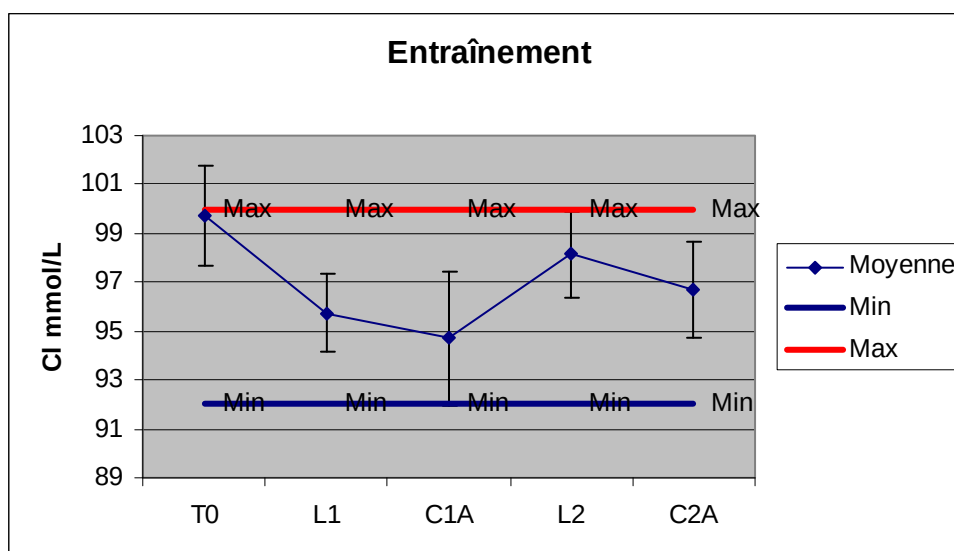


Figure 52 : Evolution de la chlorémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

La chlorémie diminue au cours de la saison.

Au cours de la première période d'entraînement, on observe une nette diminution de la chlorémie pour tous les chevaux.

Au cours de la deuxième période d'entraînement, on observe :

- une augmentation de la chlorémie, par comparaison avec L1 ;
- un retour aux valeurs de la chlorémie à T0 pour 4 chevaux.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

Les prélèvements réalisés sur les lieux de course mettent en évidence :

- une diminution de la chlorémie après chaque transport ;
- une augmentation de la chlorémie, par comparaison avec L1 ou L2 pour 4 chevaux ;
- une diminution de la chlorémie, par comparaison avec L1 ou L2 pour 6 chevaux ;
- aucune modification pour 3 chevaux.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Par rapport aux valeurs usuelles, on observe que

- les résultats obtenus, dans l'ensemble, sont dans l'intervalle de référence ;
- deux chevaux à T0 et un à L2 ont une valeur de chlorémie supérieure à la valeur maximale de référence ;
- un cheval a une valeur de chlorémie inférieure à la valeur minimale de référence.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la chlorémie donne les résultats statistiques suivants

- Comparaison par rapport à T0
 - une diminution significative en L1, C1A et C2A ;
 - une diminution non significative en L2 ;

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

L'augmentation observée entre les périodes d'entraînement est significative.

- Effet du transport

La diminution n'est pas significative lors des deux courses.

v Bilan

Le tableau 40 regroupe l'effet de l'entraînement sur la chlorémie.

Tableau 40 : Evolution de la chlorémie au cours de l'entraînement.

Chlorémie	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↓	↑	↓ (C1) Variable (C2)
Gp2	↓	↑	↓ (C1) ↑ (C2)
Bilan	↓ *	↑ *	↓ NS

h) Calcium

Figure 53 : Evolution de la calcémie sur l'ensemble de la période d'entraînement

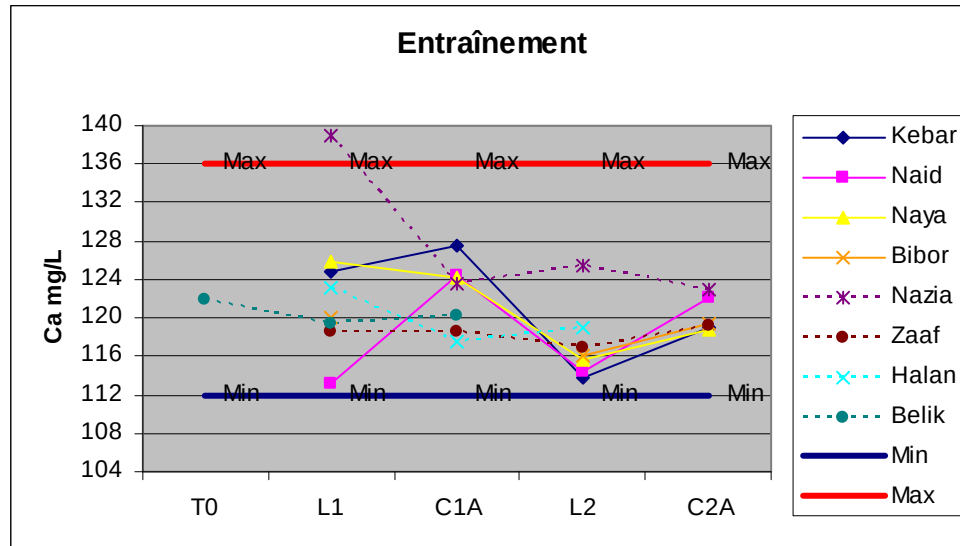
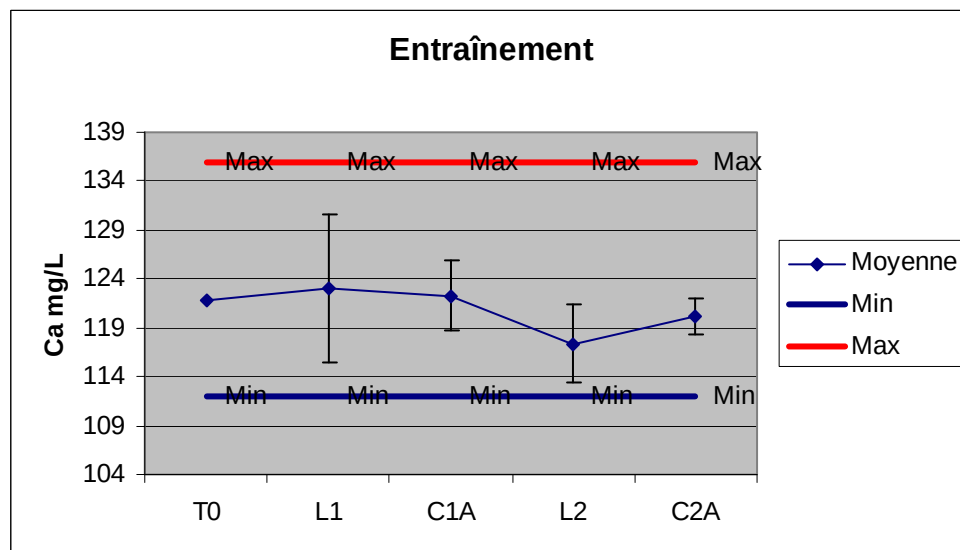


Figure 54 : Evolution de la calcémie au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

La calcémie diminue au cours de la saison. Il est intéressant de noter que le laboratoire ne nous a pas transmis les valeurs de la calcémie à T0, excepté pour Belik.

On peut donc comparer les résultats obtenus entre L1 et L2 c'est-à-dire à la fin d'une période d'entraînement de 8 semaines :

- six chevaux ont une calcémie qui diminue ;

- un seul a une calcémie qui augmente.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

En comparant les résultats obtenus entre les périodes d'entraînement et les prélèvements effectués sur le site de la course, on observe :

- une diminution pour la moitié des chevaux de la première course, l'autre moitié augmentant ;
- une augmentation pour 5 des 6 chevaux de la deuxième course.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs sont toutes comprises dans l'intervalle de référence sauf pour un cheval à L1 dont la calcémie est augmentée.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la calcémie donne les résultats statistiques suivants :

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

La diminution observée entre les périodes d'entraînement est significative.

- Effet du transport

La diminution en C1 et l'augmentation en C2 ne sont pas significatives.

v Bilan

Le tableau 41 regroupe l'effet de l'entraînement sur la calcémie.

Tableau 41 : Evolution de la calcémie au cours de l'entraînement.

Calcémie	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	Non disponible (ND)	↓	↑ (C1) ↑ (C2)
Gp2	ND	↓	↓ (C1) ↑ (C2)
Bilan	ND	↓*	↓ NS (C1) ↑ NS (C2)

Le tableau 42 regroupe l'évolution des paramètres sanguins sur la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole.

Tableau 42 : Evolution des paramètres sanguins de l'ensemble des chevaux sur la période d'entraînement

Paramètres	1 ^{ère} Période	2 ^{ème} Période	Transport
Ht	↓ NS puis ↑ NS	↓ *	↑ *
PT	↑ NS puis ↓ *	↓ *	↑ *
Urée	↑ NS	↓ NS	↑ * (C1) Stable NS (C2)
Creat	↑ NS	↑ NS	↑ * (C1) ↓ * (C2)
Na	↑ NS	Stable NS	↑ NS
K	↓ NS	Stable NS	↑ * (C1) ↑ NS (C2)
Cl	↓ *	↑ *	↓ NS
Ca	Non disponible	↓ *	↓ NS (C1) ↑ NS (C2)

2. Paramètres urinaires

a) Créatinine urinaire

Figure 55 : Evolution de la créatinine urinaire sur l'ensemble de la période d'entraînement

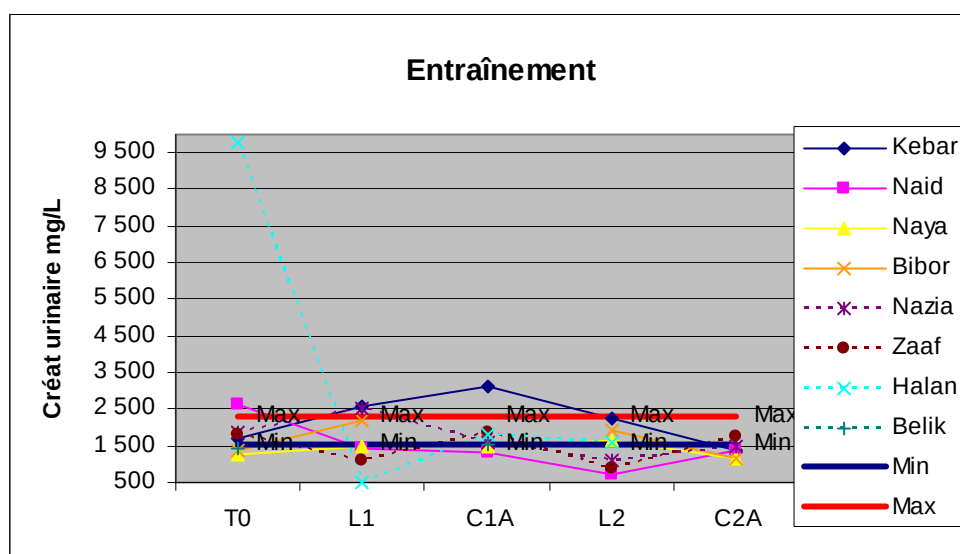
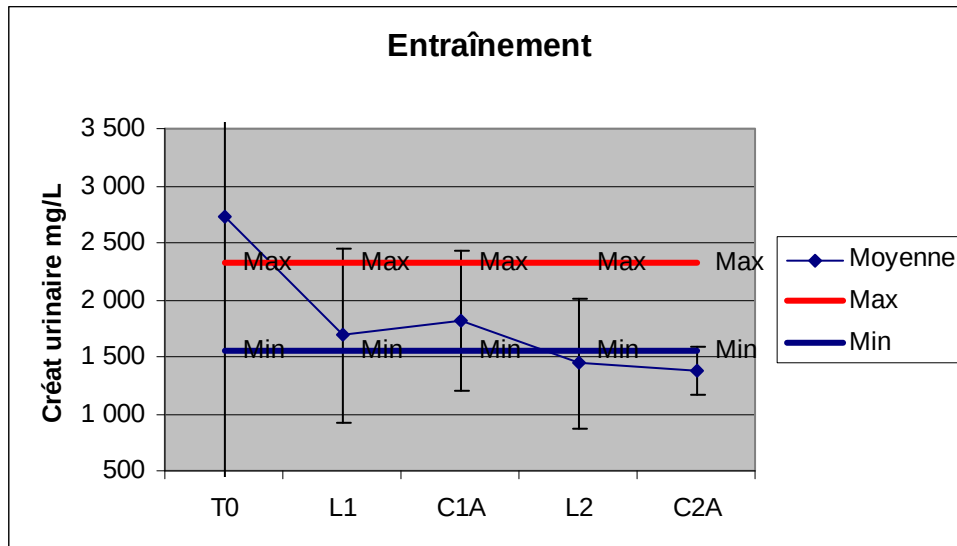


Figure 56 : Evolution de la créatinine urinaire au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

On observe une diminution de leur créatinine urinaire au cours de la saison.

Sur la première période d'entraînement, on observe :

- une diminution de ce paramètre pour 3 chevaux ;
- une augmentation pour les quatre autres.

Sur la deuxième période d'entraînement, on observe :

- une diminution de la créatinine urinaire pour 5 chevaux ;
- une augmentation pour 2 chevaux.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

En comparant les résultats obtenus lors du prélèvement sur le site de la course et les résultats lors de l'entraînement, on observe :

- une augmentation pour la moitié des chevaux ;
- une diminution pour l'autre moitié.

Un cheval pouvant diminuer lors d'une course et augmenter dans l'autre.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

La comparaison des résultats par rapport aux valeurs de référence aboutit aux constatations suivantes :

- A T0 :
 - 3 chevaux ont une valeur de créatinine urinaire dans l'intervalle de référence ;
 - 3 ont des valeurs inférieures à la valeur minimale de référence ;
 - 2 ont des valeurs supérieures à la valeur maximale de référence.

- A L1 :
 - un cheval a une valeur comprise dans l'intervalle de référence ;
 - 4 chevaux ont des valeurs inférieures à la valeur minimale de référence ;
 - 2 chevaux ont des valeurs supérieures à la valeur maximale de référence.
- A L2
 - 4 chevaux ont des valeurs comprises dans l'intervalle de référence ;
 - 3 chevaux ont des valeurs inférieures à la valeur minimale de référence.
- Course 1
 - 2 chevaux ont des valeurs comprises dans l'intervalle de référence ;
 - 3 chevaux ont des valeurs inférieures à la valeur minimale de référence ;
 - un cheval a une valeur supérieure à la valeur maximale de référence.
- Course 2
 - un seul cheval a une valeur comprise dans l'intervalle de référence ;
 - les 4 autres chevaux ont des valeurs inférieures à la valeur minimale de référence.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la créatinine urinaire ne donne pas de résultats statistiquement significatifs.

v Bilan

Le tableau 43 regroupe l'effet de l'entraînement sur la créatinine urinaire.

Tableau 43 : Evolution de la créatinine urinaire au cours de l'entraînement.

Créatinine urinaire	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑ 3 CVx ↓ 1 CV	↑ 3 CVx ↓ 1 CV	Stable sauf 1 CV ↑ (C1) ↓ (C2)
Gp2	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	↑ 2 CVx, ↓ 1 CV (C1) ↑ (C2)
Bilan	↓ NS	↓ NS	↑ NS (C1) ↓ NS (C2)

b) Sodium

Figure 57 : Evolution de la clearance du sodium sur l'ensemble de la période d'entraînement

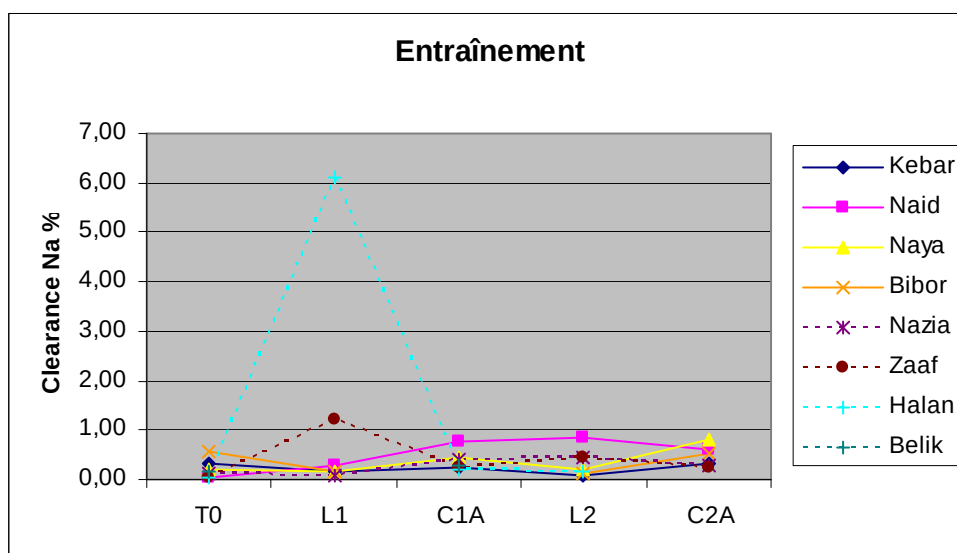
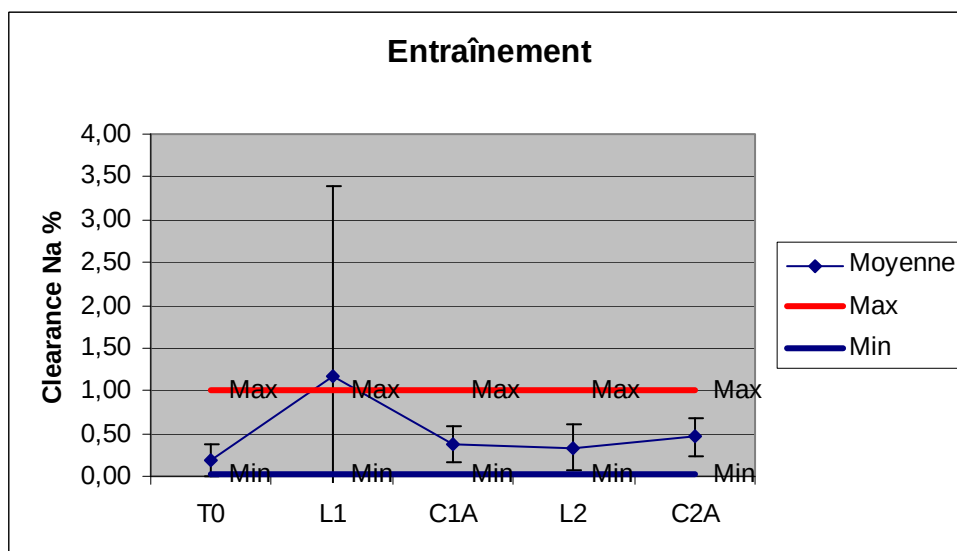


Figure 58 : Evolution de la clearance du sodium au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



La clearance du sodium évolue très peu au cours de la saison. On observe une augmentation en L1, en particulier pour Halan et Zaaf. La clearance en sodium de ces deux chevaux augmente au cours des 8 premières semaines d'entraînement puis diminue pour retourner aux valeurs initiales.

Les valeurs mesurées tout au long de la saison se trouvent dans l'intervalle des valeurs de référence (0,02 -1,0%).

L'évolution de la clearance du sodium ne donne pas de résultats statistiquement significatifs.
Le tableau 44 regroupe l'effet de l'entraînement sur la clearance du sodium.

Tableau 44 : Evolution de la clearance du sodium au cours de l'entraînement.

Clearance du sodium	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↓	↑	↑
Gp2	↑	↓	↓
Bilan	↑ NS	↓ NS	↓ NS (C1) ↑ NS (C2)

c) Potassium

Figure 59 : Evolution de la clearance du potassium sur l'ensemble de la période d'entraînement

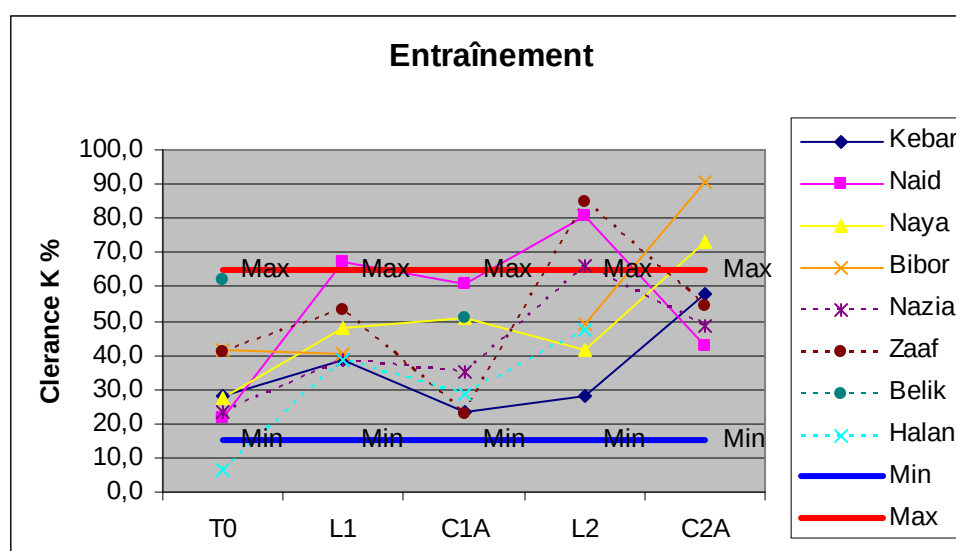
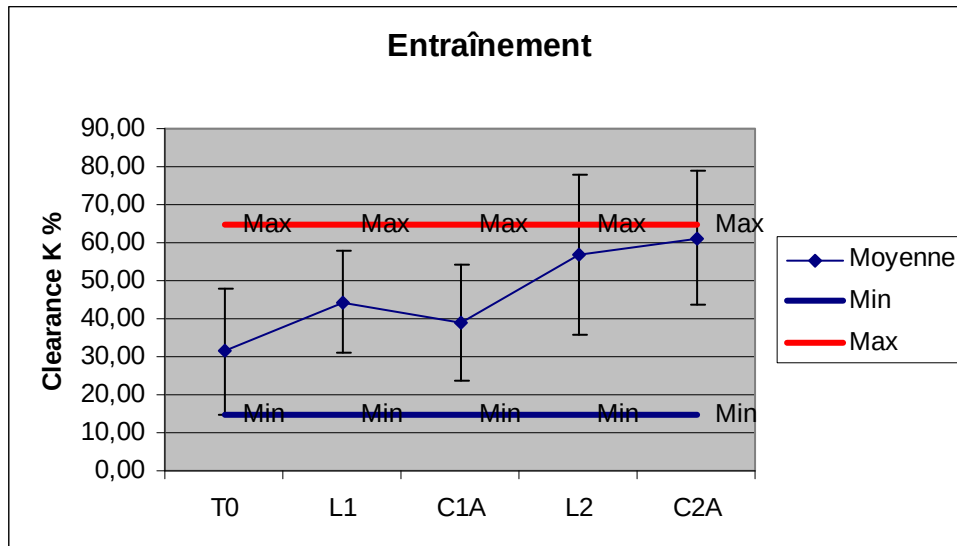


Figure 60 : Evolution de la clearance du potassium au cours de la période d'entraînement sur l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

La clearance du potassium augmente au cours de la saison.

Dans la première phase d'entraînement, on observe :

- une augmentation de la clearance pour 6 chevaux sur 7 ;
- une légère diminution pour un cheval.

Dans la seconde phase d'entraînement, on observe :

- une augmentation pour 5 des 7 chevaux ;
- une diminution pour deux chevaux du groupe 1.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

Lorsque l'on compare les données obtenues pendant l'entraînement et les résultats obtenus sur les sites des courses, on observe :

- une diminution de la clearance du potassium après le transport sur le lieu de compétition pour 6 des 7 chevaux de la première course ;
- une augmentation pour la moitié des chevaux de la deuxième course (3 chevaux du groupe 1) et une diminution pour l'autre moitié (2 chevaux du groupe 2 et un cheval du groupe 1).

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

La comparaison des résultats par rapport aux valeurs de référence aboutit aux constatations suivantes :

- A T0 :
 - 7 chevaux sont dans l'intervalle ;
 - un cheval est en dessous de la valeur minimale.

- A L1 :
 - 5 chevaux sont dans l'intervalle ;
 - un cheval est au dessus de la valeur maximale.

- A L2
 - 5 chevaux sont dans l'intervalle ;
 - 2 en dessus de la valeur maximale.

- Course 1

Tous les chevaux sont dans l'intervalle.

- Course 2
 - 4 chevaux sont dans l'intervalle ;
 - 2 chevaux sont au dessus de la valeur maximale.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la clearance du potassium donne les résultats statistiques suivants :

- Comparaison par rapport à T0
 - augmentation significative en L1, L2 et C2A ;
 - diminution non significative en C1A.

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

L'augmentation observée au cours de la période d'entraînement n'est pas significative.

- Effet du transport

Il n'y a pas de différence significative après le transport par rapport à l'entraînement.

v Bilan

Le tableau 45 regroupe l'effet de l'entraînement sur la clearance du potassium.

Tableau 45 : Evolution de la clearance du potassium au cours de l'entraînement.

Clearance du potassium	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑ 3 CVx ↓ 1 CV	↑ 2 CVx ↓ 2 CVx	↓ (C1) ↑ (C2)
Gp2	↑	↑	↓
Bilan	↑*	↑ NS	↓ NS (C1) ↑ NS (C2)

d) Chlore

Figure 61 : Evolution de la clearance du chlore sur l'ensemble de la période d'entraînement

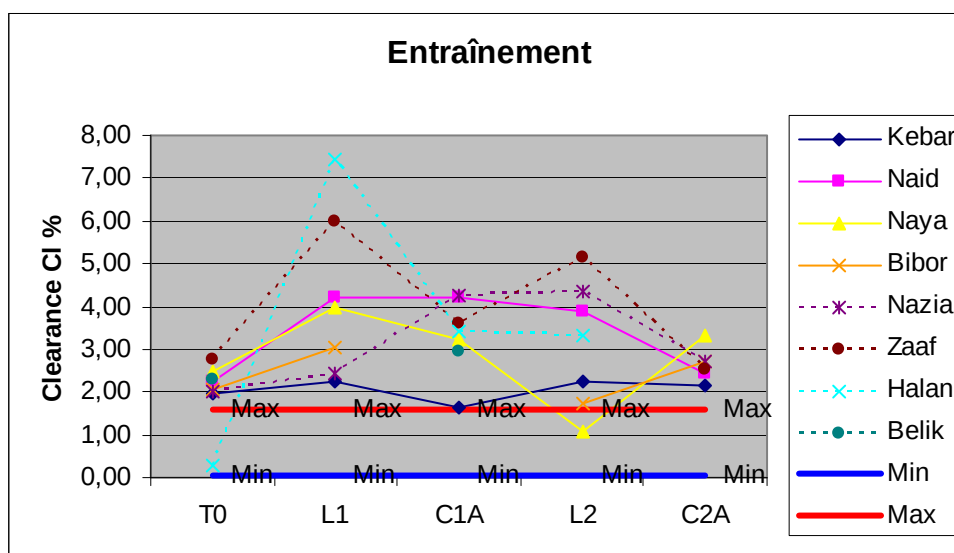
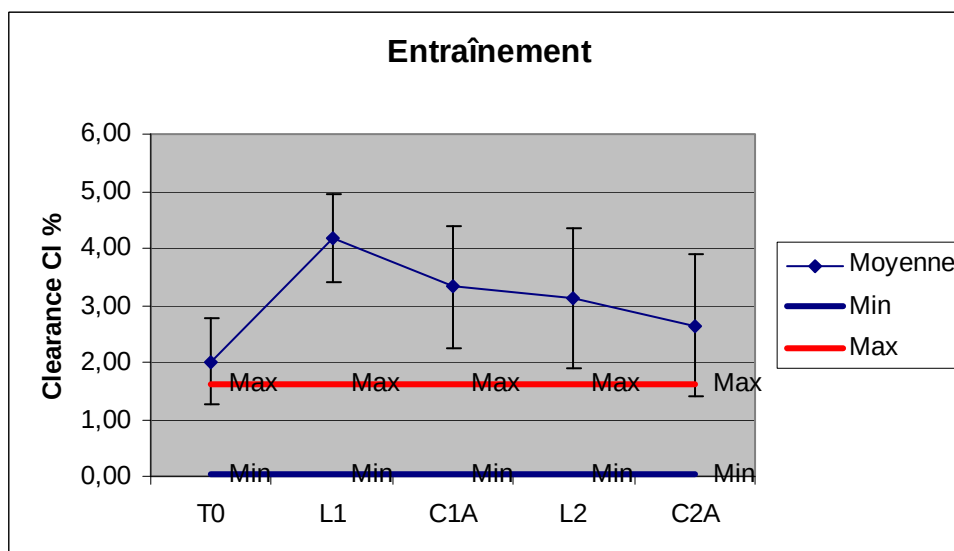


Figure 62 : Evolution de la clearance du chlore au cours de la période d'entraînement sur l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

La clearance du chlore augmente avec l'entraînement par rapport à T0 mais diminue entre L1 et L2.

Au cours de la première phase d'entraînement, on observe une augmentation pour tous les chevaux.

Par rapport à la première période d'entraînement, on constate à la fin de la deuxième période d'entraînement de 8 semaines :

- une diminution de la clearance pour 5 chevaux ;
- pas de modification pour deux chevaux ;
- les valeurs demeurent plus élevées qu'à T0 pour tous les chevaux sauf Naya et Bibor.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

En comparant les valeurs à l'entraînement et celles obtenues sur le site des courses, on observe :

- une diminution sur la première course sauf pour un cheval dont la valeur augmente ;
- une diminution pour 4 chevaux sur la deuxième course ;
- une augmentation pour 2 chevaux sur la deuxième course.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les résultats obtenus sont tous compris au dessus de la valeur maximale de référence sauf pour un cheval à T0 et pour un autre à L2 dont les valeurs sont comprises dans l'intervalle des valeurs usuelles.

iv Résultats statistiques

L'évolution de la clearance du chlore donne les résultats statistiques suivants :

- Comparaison par rapport à T0
 - différence significative avec C1A ;
 - pas de différence significative avec L1, L2 et C2A ;

- Comparaison entre les périodes d'entraînement

L'évolution observée entre les périodes d'entraînement n'est pas significative.

- Effet du transport

Il n'y a pas de différence significative entre les résultats à l'entraînement et après transport.

v Bilan

Le tableau 46 regroupe l'effet de l'entraînement sur la clearance du chlore.

Tableau 46 : Evolution de la clearance du chlore au cours de l'entraînement.

Clearance du chlore	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑	↓	↓ (C1) Variable (C2)
Gp2	↑	↓ 2 CV _x ↑ 1 CV	↓
Bilan	↑ NS	↓ NS	↓ NS

e) pH urinaire

Figure 63 : Evolution du pH urinaire sur l'ensemble de la période d'entraînement

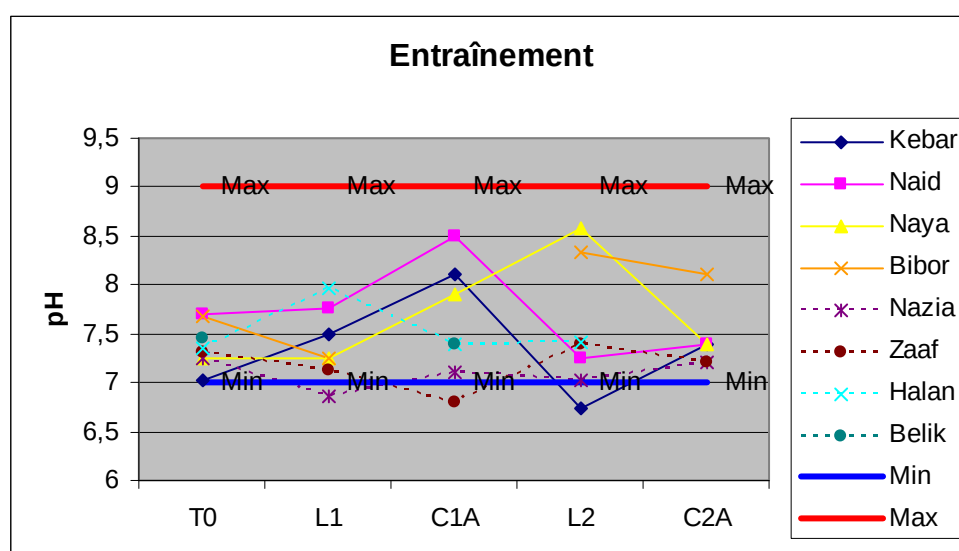
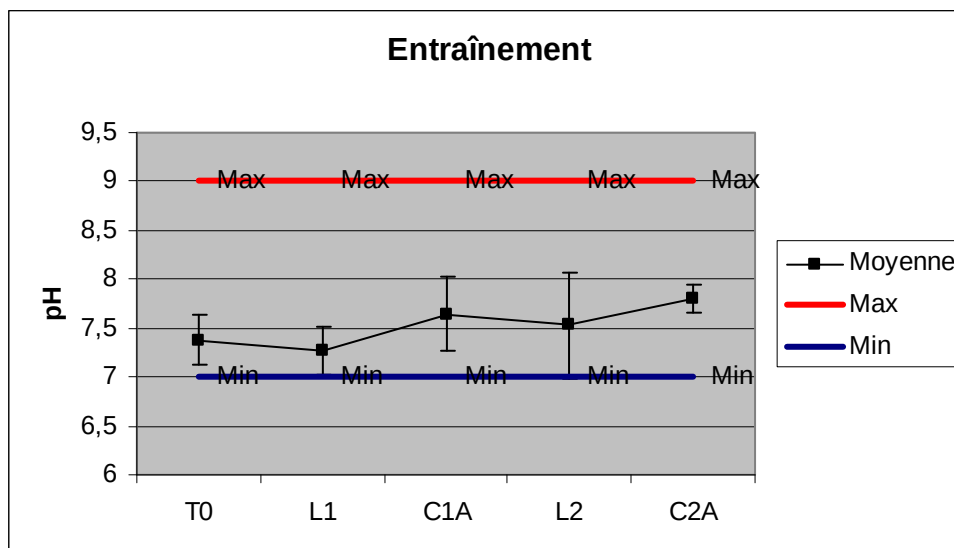


Figure 64 : Evolution du pH urinaire au cours de la période d'entraînement pour l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

Le pH urinaire est variable en fonction des individus au cours de la saison. Il diminue légèrement dans la première période d'entraînement puis augmente légèrement entre L1 et L2. Au cours de la première phase entraînement, on observe :

- une augmentation pour 2 chevaux ;
- une diminution pour 3 chevaux ;
- pas de modification pour 2 chevaux.

Au cours de la deuxième phase d'entraînement, on observe par rapport à la première :

- une augmentation pour 4 chevaux ;
- une diminution pour 3 chevaux.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

La comparaison des valeurs obtenues pendant entraînement et sur les sites des courses apporte les constatations suivantes :

- le pH augmente après le transport
- les chevaux du groupe 1 ont un pH qui augmente alors que celui du groupe 2 diminue pour la première course ;
- la moitié des chevaux ont un pH qui augmente et l'autre moitié qui diminue pour la deuxième course.

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

Les valeurs de pH obtenues sont dans l'intervalle de référence sauf pour quelques prélèvements qui sont en dessous de la valeur minimale de référence : Nazia à L1, Zaaf à C1 et Kebar à L2.

iv Résultats statistiques

L'évolution du pH urinaire n'est pas statistiquement significative au cours de la période d'entraînement.

v Bilan

Le tableau 47 regroupe l'effet de l'entraînement sur le pH urinaire.

Tableau 47 : Evolution du pH urinaire au cours de l'entraînement.

pH urinaire	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	Variable	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	↓ (C1) Variable (C2)
Gp2	↑ 2 CVx ↓ 1 CV	↑ 2 CVx ↓ 1 CV	↓ (C1) Variable (C2)
Bilan	↓ NS	↑ NS	↑ NS

f) Densité urinaire

Figure 65 : Evolution de la densité urinaire sur l'ensemble de la période d'entraînement

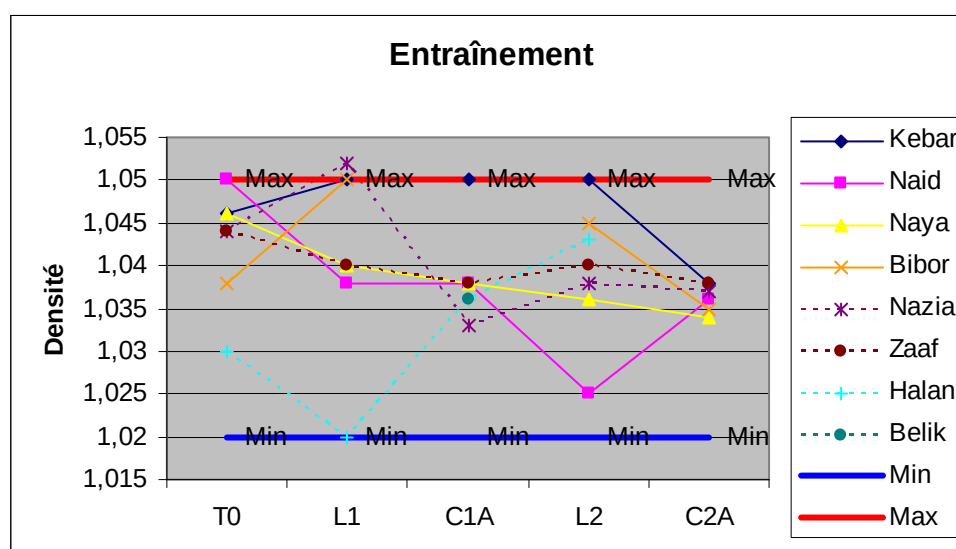
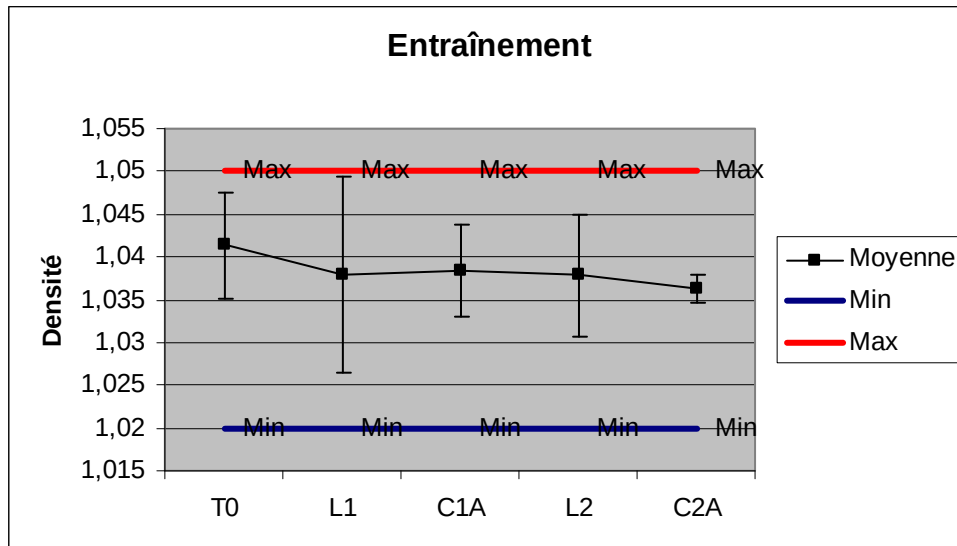


Figure 66 : Evolution de la densité urinaire au cours de la période d'entraînement sur l'ensemble des chevaux du protocole



i Evolution au cours des périodes d'entraînement

La densité urinaire diminue au cours de la saison.

Au cours première partie de l'entraînement, on observe :

- une augmentation de la densité pour 3 chevaux ;
- une diminution pour 4 chevaux.

Au cours de la deuxième partie de l'entraînement, on observe :

- aucune modification pour 2 chevaux ;
- une diminution pour 4 chevaux ;
- une augmentation pour un cheval.

ii Evolution suite au transport sur le site des courses

Lors des prélèvements sur les sites des courses, on constate :

- une légère augmentation pour la première course et une légère diminution pour la deuxième course ;
- une homogénéisation des valeurs des densités urinaires sur les deux courses sauf pour Kebar sur le site de la première course ;
- les valeurs sont presque toutes inférieures à celle observées à l'entraînement (6/7 pour la première course ; 5/6 pour la seconde).

iii Evolution par rapport aux valeurs de référence

La densité urinaire se situe dans l'intervalle des valeurs de référence, excepté pour Kebar qui est souvent à la limite supérieure ainsi que Nazia lors du premier test long.

iv Résultats statistiques

Aucun test statistique n'a été réalisé pour ce paramètre en raison de l'imprécision des résultats. En effet, lorsque la densité obtenue est supérieure à 1,05 on ne peut pas connaître précisément sa valeur par la méthode employée.

v Bilan

Le tableau 48 regroupe l'effet de l'entraînement sur la densité urinaire.

Tableau 48 : Evolution de la densité urinaire au cours de l'entraînement.

densité urinaire	1 ^{ère} période T0-L1	2 ^{ème} période L1-L2	Effet transport L1-C1 et L2-C2
Gp1	↑ 2 CVx ↓ 2 CVx	↓	↓
Gp2	↓ 2 CVx ↑ 1 CV	Variable	Variable
Bilan	↓	Stable	↑ (C1) ↓ (C2)

Le tableau 49 regroupe l'évolution des paramètres urinaires au cours de l'entraînement.

Tableau 49 : Evolution des paramètres urinaires au cours de l'entraînement

Paramètres	1 ^{ère} période	2 ^{ème} période	Transport
Créatinine urinaire	↓ NS	↓ NS	↑ NS (C1) ↓ NS (C2)
Clearance du sodium	↑ NS	↓ NS	↓ NS (C1) ↑ NS (C2)
Clearance du potassium	↑*	↑ NS	↓ NS (C1) ↑ NS (C2)
Clearance du chlore	↑ NS	↓ NS	↓ NS
pH urinaire	↓ NS	↑ NS	↑ NS
Densité urinaire	↓	Stable	↑ (C1) ↓ (C2)

Il est possible de résumer l'évolution des paramètres étudiés par le tableau 50.

Tableau 50 : Récapitulatif des résultats obtenus au cours du protocole : en course, à l'entraînement et suite au transport.

	Paramètre	Course	Entraînement	Effet transport
Sang	Hématocrite	↑	↓	↑
	Protéines totales	↑	↔	↑
	Urée	↑	↑	↑
	Créatinine	↑	↑	↑ (C1) ↓ (C2)
	Na	↓	↑	↑
	K	↓	↓	↑
	Cl	↓	↓	↓
Urine	Ca	↑	↓	variable
	Créatinine	↑	↓	variable
	Clearance Na	↓	↔	↔
	Clearance K	↓	↑	variable
	Clearance Cl	↓	↑	↓
	pH	↔	variable	↑
	Densité	↔	variable	variable

Légende

- Significatif sur les deux courses ou sur les deux périodes
- Significatif sur une des courses
- Significatif entre T0 et L2
- Significatif entre T0 et L1

III. Discussion

L'étude expérimentale a été réalisée dans le but de connaître l'évolution des paramètres sanguins et urinaires principaux pendant les courses mais également pendant la période d'entraînement. Ce suivi de chevaux sains nous permet d'avoir une idée plus précise de la physiologie du cheval d'endurance du 3^{ème} millénaire. Dans un premier temps nous nous arrêterons sur les limites du protocole mis en place, puis nous verrons les conclusions qui ressortent de l'étude. Enfin, nous verrons quelles sont les perspectives que l'on peut envisager.

A. Limites du protocole

1. Nombre de sujets

Tout d'abord le nombre de sujet ayant pris part à l'expérience est assez restreint. Huit chevaux ont démarré le protocole mais tous ne sont pas arrivés à la fin. En effet, lors d'une course d'endurance CEI** ou CEI*** seulement la moitié des partants est classée à l'arrivée (d'après l'association des organisateurs des concours d'endurance équestre. Site de l'association des organisateurs de concours d'endurance équestre) :

- 51,19% en 2006,
- 53,66% en 2007
- 55,81% en 2008

Il était donc peu probable que tous nos chevaux engagés finissent tous les courses de la saison. Seuls deux chevaux (Kebars et Zaaf) ont terminé leurs 2 courses au cours de la saison et seuls 5 chevaux (Kebars, Naid, Naya, Zaaf, Nazia) ont pris le départ de deux courses. Ceci entraîne une imprécision dans les calculs statistiques, en effet, plus la taille de l'échantillon est petite plus la précision est faible.

2. Moment de prélèvement

La réalisation des prélèvements urinaires par miction spontanée constitue une difficulté. En effet, certains chevaux ont du mal à uriner devant un observateur.

De plus tous les prélèvements n'ont pas été récoltés au même moment de la journée. Or, la densité urinaire varie de manière importante au cours de la journée, en fonction des repas, de l'exercice et de la prise de boisson (Picandet et Desjardin, 2006). On peut donc supposer que sa composition varie également au cours de la journée. Ainsi, du fait que tous les chevaux n'aient pas été prélevés au même moment, cela a certainement introduit un biais dans l'étude.

3. Durée d'acheminement

La durée d'acheminement des prélèvements au laboratoire n'a pas toujours été optimale pendant le protocole. En effet, les courses se déroulent en fin de semaine, ce qui entraîne parfois des retards dans les envois par la poste. Lors de la deuxième course de la saison, les prélèvements ne sont arrivés que 5 jours après la course. Ces délais d'acheminement sont certainement la cause d'artéfacts de mesure. Les paramètres comme le potassium, le calcium, les protéines totales, la créatinine et l'urée sont sensibles à l'hémolyse (Leroux *et al.*, 2005). Le potassium, par exemple, sera augmenté par fuite à travers les membranes cellulaires des globules rouges si le sérum ou le plasma n'est pas séparé dans l'heure suivant le prélèvement. (Desjardin et Cadoré, 2006). Ainsi suite à cet incident, les prélèvements ont été centrifugés et le plasma séparé avant l'envoi.

4. Effet température

Les courses auxquelles les chevaux ont participé, se sont déroulées en été sous des températures assez élevées surtout pour les premières courses. Seule la deuxième course du groupe 2 s'est déroulée sous des températures inférieures à 15°C. La température influence la production de sueur et donc les pertes en électrolytes (Carlson, 1983). D'après le modèle de Ecker et Lindinger (1995), la perte en électrolytes est corrélée à la température de façon significative. Des courses se déroulant sous des températures fraîches entraînent de plus faibles modifications plasmatiques (Rose *et al.*, 1983). Ainsi, les variations peuvent être différentes d'une course à l'autre en fonction des conditions climatiques. On introduit dans l'étude un facteur non maîtrisable mais dont il est impossible de s'affranchir.

5. Effet transport

Dans l'analyse des résultats au cours de l'entraînement, on observe des modifications importantes lors du prélèvement sur le site de la course et en particulier lors de la première course. L'hématocrite et les protéines totales sont augmentés de façon significative avant chaque course par rapport à l'entraînement. L'urémie, la créatinémie et la kaliémie augmentent uniquement de manière significative avant la première course. Les chevaux avaient subis plusieurs heures de transport avant ces prélèvements. Il a été montré (Barton *et al.*, 2003) que les chevaux dont le trajet est long avant la course ont une concentration plasmatique en protéines totales plus élevée et une concentration plasmatique en sodium, chlore et bicarbonates plus faibles que les autres chevaux. Dans notre étude, le potassium est le seul électrolyte montrant une modification significative avec le transport. Barton *et al.* (2003) associent le transport à une déshydratation et une perte en électrolytes comme ce qui est observé lors de la course. Les chevaux qui effectuent un trajet de plus de 16h pour rejoindre le site de la compétition devraient se reposer pendant 32 heures afin de récupérer leurs pertes en eau et en électrolytes. La durée du transport était certes inférieure à 16h, mais le transport associé aux températures élevées a certainement influencé l'équilibre hydro-électrolytique des chevaux lors de ce prélèvement.

B. Interprétation des résultats

1. Modification du statut hydrique au cours des courses

Les différents paramètres permettant d'accéder au statut hydrique du cheval (Hématocrite, protéines totales, urée et créatinine) augmentent pendant les courses de façon significative. La course est donc à l'origine d'une déshydratation, ce qui était déjà souligné par les précédentes études (Carlson, 1987 ; Kerr et Snow, 1982...)

Ces augmentations signifient donc une hémococoncentration, une contraction splénique et une diminution du taux de perfusion rénale pendant l'effort (Schott *et al.*, 2006). En effet, lorsqu'une perte de fluide à partir du compartiment extracellulaire se produit, on observe une augmentation des protéines totales, de l'albumine, de l'urée et la créatinine du fait d'une hémococoncentration (Rose *et al.*, 1983). Il se produit un mouvement de fluides et de protéines de l'espace interstitiel vers le compartiment vasculaire (Rose *et al.*, 1983 ; McKeever, 2008). Bien que des facteurs pré-rénaux influencent les valeurs de la créatinine et de l'urée, l'augmentation observée ne s'explique pas seulement par une hémococoncentration. Il se produirait une diminution du taux de filtration glomérulaire en réponse à la diminution du flux sanguin au niveau rénal (Rose *et al.*, 1983). Cette diminution du flux sanguin rénal est donc à l'origine d'une insuffisance rénale pré-rénale qui s'installe progressivement à mesure que la déshydratation augmente au cours de l'effort. Cependant cette hypothèse n'est pas soutenue par tous, le taux de filtration glomérulaire serait protégé en augmentant la fraction de filtration (McKeever, 2008).

Rose *et al.* (1983) suggèrent que les pertes se produisent surtout en début de course car c'est en milieu de course que l'on retrouve les valeurs les plus élevées. Notre étude ne fournit malheureusement pas ces valeurs intermédiaires. Schott *et al.* (2006) estiment que cette diminution des pertes est à relier à une diminution de l'intensité de l'exercice pendant la deuxième partie de la course. Cependant, les vitesses sur les courses auxquelles ont participé les chevaux n'ont pas diminué en deuxième partie de course.

2. Modifications en électrolytes pendant la course

a) La natrémie

La natrémie en première partie de course a un comportement variable puis diminue dans la seconde partie des courses. Cependant, ces variations sont faibles. Il est important de rappeler que la valeur de la natrémie ne reflète pas fidèlement le statut sodique de l'animal mais plutôt le statut hydrique intracellulaire. Ainsi une hypernatrémie indique un déficit en eau, une hyponatrémie, au contraire, un excès d'eau (Carlson, 1987 ; Desjardin et Cadoré, 2006).

Les résultats obtenus dans des études précédentes sont également variables. Le sodium plasmatique peut augmenter pendant la course (Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan *et al.*, 1991 ; Snow *et al.*, 1982 ; Rose *et al.*, 1983) ou au contraire diminuer (Rose *et al.*, 1980 ; Barton *et al.*, 2003). Ces variations seraient donc dues aux différences de pertes en eau en fonction des conditions climatiques des courses et seraient donc fonction de l'état d'hydratation du cheval. Cependant, lorsque l'on compare les deux courses du groupe 2 qui se sont courues sous des conditions climatiques différentes (1^{ère} course sous la chaleur et 2^{ème}

course avec une température de 15°C), on n'observe aucun changement dans l'évolution de la natrémie au cours de l'effort. La relation entre l'évolution du sodium et l'état d'hydratation n'est donc probablement pas aussi simple qu'on aurait pu le penser.

b) La kaliémie

La kaliémie diminue pendant la course. Elle chute de façon prononcée en première partie de course puis elle augmente pendant la deuxième phase de la course. De précédentes études avaient pourtant mis en évidence une augmentation de potassium en début de course et une diminution par la suite (Rose *et al.*, 1983 ; Scott *et al.*, 2006). Les pertes en potassium par la sueur, associées à l'augmentation de l'activité des pompes Na⁺/K⁺/ATPase pendant la phase de récupération, seraient responsables de cette diminution (Lindinger et Ecker, 1995 ; Scott *et al.*, 2006). D'autres études, au contraire, ne trouvent pas de diminution de la kaliémie pendant la course (Kerr et Snow, 1982 ; Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan *et al.*, 1991) et suggèrent que ce maintien de la concentration plasmatique en présence de pertes par la sueur est permis par un mouvement de potassium du compartiment intracellulaire vers le compartiment extracellulaire. Le mouvement inverse se produirait après la course et serait responsable d'une chute importante de la kaliémie (Kerr et Snow, 1982).

Devant une telle variabilité de résultats, on peut se demander si les valeurs de kaliémie obtenues sont fiables. On sait en effet, que du potassium est contenu dans les globules rouges (Carlson, 1987). Ainsi un prélèvement ayant subi une hémolyse marquée aurait des résultats non fiables. Il est à rappeler que l'analyse des prélèvements dans notre étude ne s'est pas faite le jour même du prélèvement voir plusieurs jours après et que pour les premiers prélèvements le plasma n'était pas séparé. Ceci a donc pu contribuer à fausser les résultats obtenus car le temps avant la séparation du plasma et la conservation des prélèvements sont des facteurs de variations (Carlson, 1987 ; Desjardin et Cadoré, 2006).

c) La chlorémie

La chlorémie diminue pendant l'effort, certains chevaux terminent même la course en étant en hypochlorémie. Des résultats semblables sont observés dans les autres études (Rose *et al.*, 1977 ; Rose *et al.*, 1980 ; Snow *et al.*, 1982 ; Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan *et al.*, 1991 ; Scott *et al.*, 1997 ; Barton *et al.*, 2003 ; Scott *et al.*, 2006) bien que l'hypochlorémie ne soit pas toujours observée. Cette diminution résulte de la perte importante de chlorure par la sueur. Le maintien d'une chlorémie satisfaisante constitue un signe indiquant que la production de sueur pendant l'effort est faible (Kerr et Snow, 1982 ; Rose *et al.*, 1983).

d) La calcémie

La calcémie augmente mais surtout lors de la première course. Ces résultats sont contraires à ceux que l'on retrouve majoritairement dans la littérature. En effet c'est une diminution de la calcémie qui est rapportée (Rose *et al.*, 1977 ; Rose *et al.*, 1983 ; Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan *et al.*, 1991 ; Barton *et al.*, 2003 ; Scott *et al.*, 2006). Certains chevaux montrent parfois des signes d'hypocalcémie marquée tel que le flutter diaphragmatique. Le calcium étant perdu par la sueur (Rose *et al.*, 1983), sa concentration plasmatique diminue. Cependant, sa valeur plasmatique reflète très mal son statut au sein de l'organisme puisque, dans le sang, environ la moitié du calcium est lié aux protéines. Elle sera ainsi corrélée à la protéinémie (Carlson, 1987) et si la protéinémie augmente les variations de

la calcémie peuvent être masquées (Scott *et al.*, 2006). De plus, seul le calcium ionisé constitue la forme physiologiquement active et la mesure du calcium total n'apporte qu'une faible estimation de la forme ionisée (Lopez *et al.*, 2006). Ainsi, les mesures réalisées ne sont peut être pas corrélées de façon fiable au statut calcique du cheval.

3. Adaptation rénale à l'exercice

L'étude des paramètres urinaires permet d'estimer si le cheval met en place des mécanismes d'économie en électrolytes. La mesure de la clearance permet de se rendre compte si la substance est réabsorbée ou non. Cependant, afin de ne pas mal interpréter cette donnée, il faut prendre en compte l'évolution de la créatinine urinaire qui rentre en jeu dans le calcul de la clearance :

$$\frac{Cl_A}{Cl_{Cr}} = \frac{([A]_{ur} / [A]_{sg}) \times \text{production d'urine}}{([Cr]_{ur} / [Cr]_{sg}) \times \text{production d'urine}}$$

Afin de corriger les variations de concentration urinaire au cours de la journée, on utilise le rapport entre la créatinine plasmatique et urinaire (Picandet et Desjardin, 2006). La créatinine est utilisée comme référence car elle n'est ni réabsorbée ni secrétée par les tubules rénaux (Scott, 2004). Dans notre étude, les créatinines sanguine et urinaire augmentent en parallèle. Il est donc possible d'interpréter les clearances. Cependant, au repos il est envisageable de ne pas prélever le sang et l'urine au même moment car les concentrations plasmatiques en électrolytes et en créatinine sont stables (Scott, 2004). Ceci n'est pas le cas à l'exercice. Or certains prélèvements d'urine n'ont pu être réalisés en même temps que la ponction sanguine (deuxième course du groupe 2), ceci pouvant entraîner un biais.

Les trois clearances étudiées diminuent pendant l'effort. Le sodium et le chlore sont donc encore plus réabsorbés qu'au repos. Le potassium qui, au repos, est très peu réabsorbé par le rein, l'est un peu plus lors de l'effort.

L'étude de Snow *et al.* (1982) montre une diminution de l'excrétion urinaire du chlore assez marquée mais ne met pas en évidence de changement dans l'excrétion urinaire du sodium et du potassium alors que Carlson (1983) estime que lors de pertes importantes par la sueur, le rein met en place des mécanismes de conservation des électrolytes.

4. Les effets de l'entraînement

Les quelques études qui s'étaient intéressées à l'effet de l'entraînement sur l'équilibre hydro-électrolytique du cheval d'endurance suggéraient une augmentation du volume plasmatique (McKeever *et al.*, 1987 ; McKeever, 2008).

Au cours de l'entraînement, on observe en effet une diminution de l'hématocrite qui indique une augmentation du volume plasmatique au cours de la saison.

Une augmentation des protéines totales est également observée, ce qui concorde avec les données de McKeever (2008). Cette augmentation permet au plasma, en restant iso-oncotique,

de maintenir l'eau dans le compartiment vasculaire et contribue ainsi à augmenter le volume plasmatique.

Une étude (McKeever *et al.*, 1987) soutient que l'urée est à l'origine du mécanisme de rétention d'eau au niveau rénal permettant l'augmentation du volume plasmatique. En accord avec cette idée, on observe dans notre étude une augmentation de l'urémie au cours de la période d'entraînement. Cependant, le sodium plasmatique augmente également, alors que pour McKeever *et al.* (1987), celui-ci n'est pas prépondérant dans le mécanisme de rétention d'eau.

Les autres électrolytes sanguins diminuent au cours de la saison d'entraînement mais pour la plupart de façon non significative. Seul le chlore diminue significativement sur les huit premières semaines d'entraînement. De plus aucune étude n'apporte sa contribution à l'étude de l'évolution de ces paramètres pendant l'entraînement.

Parmi les paramètres urinaires étudiés seule la clearance du potassium augmente de façon significative. Le potassium est donc excrété en plus grande quantité. On sait que le rein du cheval élimine beaucoup de potassium dans les urines car l'alimentation du cheval apporte beaucoup de cet ion (Rose, 1990). L'observation de l'excrétion encore plus marquée de cet ion est peut être à relier à l'alimentation.

La clearance du sodium demeure stable suggérant qu'il n'y a pas de limitation des pertes rénales de cet ion par le rein, contrairement aux observations de McKeever *et al.* (2002).

L'étude de l'évolution du pH et de la densité urinaire ne permet pas de dégager une tendance à l'augmentation ou à la diminution.

C. Perspectives

1. La supplémentation : une solution pour aider le cheval face aux pertes subies ?

La production d'un volume important de sueur hypertonique par rapport au plasma entraîne la diminution marquée du volume de fluides extracellulaires mais aussi une modification du statut électrolytique du cheval. Le remplacement de ces pertes par la prise de boisson est important pour que le cheval soit capable de gérer ces perturbations hydro-électrolytiques. L'administration d'une supplémentation en électrolytes est, peut être, judicieuse afin de limiter la dilution du fluide extracellulaire en cas d'apport d'eau seule. Elle permet également d'augmenter la prise de boisson en augmentant l'osmolarité plasmatique (Coenen, 2005).

Les cavaliers d'endurance ont donc pris l'habitude d'administrer des pâtes contenant des électrolytes durant la course. Différentes recettes sont disponibles et peuvent être iso, hypo ou hypertonique en NaCl. Toutes conviennent mais seule la formulation hypertonique en NaCl déclencherait une prise de boisson (Kronfeld, 2001).

Cette supplémentation contient bien souvent du potassium en plus du sodium et du chlore. Bien que notre étude montre une diminution du potassium pendant la course, d'autres études montrent une augmentation de la kaliémie (Rose *et al.*, 1977 ; Snow *et al.*, 1982 ; Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan *et al.*, 1991). Ainsi l'administration de potassium pendant la course ne serait pas bénéfique (Coenen, 2005 ; Kronfeld, 2001) car elle amplifie cette

augmentation et pourrait être à l'origine de troubles cardiovasculaires. Kronfeld (2001) propose donc l'utilisation de deux types de supplémentation (Tableau 51) :

- une sans potassium à utiliser pendant la course ;
- une autre contenant du potassium à utiliser avant et après la course.

Tableau 51 (D'après Kronfeld, 2001) : Exemple de deux formulations de suppléments en électrolytes

Ingrédients en grammes	En course	Au repos
NaCl	21,8	78,4
KCl	/	30,6
CaCl ₂	1,7	6,8
MgCl ₂	1,1	4,4
NaH ₂ PO ₄	0,13	0,53
Glucose	/	250

L'administration de potassium après la course permet le transport de glucose à l'intérieur des cellules et la synthèse de glycogène dans les muscles (Kronfeld, 2001).

Il a été proposé de rajouter à ces formules du glycérol afin de limiter la perte de poids comme cela est fait chez l'humain (Bergero, 2005). L'étude de Dusterdieck *et al.* en 1999 n'a pas montré d'effets significativement bénéfiques de l'ajout de glycérol dans la supplémentation par rapport à l'utilisation d'électrolytes seuls. Il est inefficace dans la prévention de la perte de poids pendant l'effort et augmente l'élimination urinaire des électrolytes.

Il existe un concept selon lequel l'administration d'électrolytes plusieurs jours avant la course permettrait de former une réserve en électrolytes. Cependant aucune étude n'apporte d'élément en faveur de cette hypothèse, d'autant plus que les électrolytes en excès sont éliminés en quelques heures par le rein (Bergero, 2005). Le seul intérêt de fournir des électrolytes avant la course est de les donner avec de l'eau environ 4h avant la course afin que le cheval consomme plus d'eau. (Bergero, 2005 ; Coenen, 2005)

2. Pistes d'amélioration du protocole

L'étude réalisée a permis de confirmer les résultats précédents obtenus en course et d'apporter des pistes de réflexion pour l'entraînement. Cependant, le nombre de sujets étudiés était trop faible pour pouvoir généraliser à l'ensemble des chevaux d'endurance. L'aspect financier a bien sûr limité le nombre de chevaux pouvant être pris en charge par l'ENESAD. Le suivi de chevaux de particuliers sur une saison permettrait d'augmenter facilement le nombre de chevaux mais on perdrait la standardisation de l'entraînement. Cependant, chaque cavalier a sa méthode pour entraîner son cheval mais ils suivent, tout de même, des lignes directrices à peu près semblables. Ainsi adopter un tel protocole permettrait peut être, bien qu'introduisant la diversité des entraînements et de l'alimentation, d'apporter des réponses généralisables à l'ensemble de la population équine d'endurance.

Le deuxième grand point faible du protocole réside dans le délai d'acheminement des prélèvements au laboratoire. L'utilisation de la poste n'est malheureusement pas un moyen fiable. L'envoi par transporteur est possible mais certainement coûteuse. Il serait peut être possible d'aménager une voiture afin de pouvoir transporter l'analyseur comme il est possible aujourd'hui d'emmener la développeuse radio. Cette solution serait certainement, elle aussi, assez coûteuse mais pourrait éventuellement être discutée avec un laboratoire fournissant ces analyseurs.

Le choix des dates de prélèvements n'est également pas optimal. En effet, le prélèvement avant la course mais après le transport est certainement influencé par ce dernier. Il ne permet donc pas d'obtenir un statut hydro-électrolytique du cheval reflétant les modifications apportées par l'entraînement. Il serait donc peut-être envisageable de réaliser ce prélèvement avant le départ de l'écurie. Ceci n'étant cependant possible que si l'on conserve un effectif restreint de chevaux.

CONCLUSION

Le cheval d'endurance est un athlète à part entière avec des spécificités propres à sa discipline. Son organisme doit s'adapter aux abondantes pertes en eau et en électrolytes qui surviennent pendant l'effort. La sudation importante qui accompagne un tel effort est responsable de cette fuite d'eau et d'électrolytes. Pour faire face à cette situation qui se répercute irrémédiablement sur la composition plasmatique en électrolytes, la sueur n'étant qu'un filtrat du plasma, le cheval ne possède pas beaucoup de solutions. La déshydratation ainsi que l'insuffisance rénale pré-rénale qui s'en suit sont corrigées par la prise de boisson. L'organisme s'adapte également à ces pertes en électrolytes accrues en limitant leur excrétion rénale. Toutes les études ainsi que celle que nous avons menée en 2008 conduisent à des constatations similaires. Les pertes hydro-électrolytiques par la sueur se répercutent sur le plasma et entraînent une déshydratation et une diminution des concentrations plasmatiques en électrolytes plus ou moins marquées.

Cependant, la course n'est pas tout. Tout au long de sa vie, le cheval destiné aux épreuves d'endurance doit s'entraîner à cet effort de longue durée. Un tel athlète est très différent des chevaux qui ne fournissent qu'un effort court à l'occasion d'une course ou d'un parcours d'obstacles. On aurait pu s'attendre à observer chez ces chevaux des adaptations de leur organisme pour faire face aux pertes hydro-électrolytiques. Cependant, la seule modification significative réside en une augmentation du volume plasmatique. Aucune adaptation électrolytique ne se dégage des résultats obtenus. Les études disponibles à ce sujet sont limitées et celle que nous avons réalisée ne concerne qu'un nombre restreint de chevaux. Il serait sans doute judicieux d'élargir le nombre de sujets étudiés, afin d'obtenir plus de résultats significatifs.

L'endurance équestre est une discipline en plein essor. De ce fait, il est probable que dans les années à venir, les études se multiplient sur le sujet afin de nous en apprendre d'avantage sur ces animaux capables de parcourir jusqu'à 160km à des vitesses supérieures à 18 km/h. Ceci permettra de limiter les risques liés à de telles épreuves voire de les anticiper.

BIBLIOGRAPHIE

BARTON MH, WILLIAMSON L, JACKS S, NORTON N. (2003) Body weight, hematologic findings, and serum and plasma biochemical findings of horses competing in a 48-, 83-, or 159-km endurance ride under similar terrain and weather conditions. *Am. J. Vet. Res.*, **64**,(6) 746-753.

BELTRAN W A. (1997) *Contribution à l'étude des modifications des concentrations en électrolytes plasmatiques chez le chien de sport*. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Maisons Alfort. 86p.

BERGERO D, ASSENZA A, CAOLA G. (2005) Contribution to our knowledge of the physiology and metabolism of endurance horses. *Livestock Prod. Science*, **92**, 167-176.

BROWN, BERTONE. (2002) *The 5-minute veterinary consult equine*. Lippincott, Williams and Wilkins, 1154p.

BRUGERE H.(2006) *Système nerveux (fascicule n°2): Thermorégulation Régulation de la prise alimentaire*. Polycopié. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique de physiologie et thérapeutique. 31p.

CAMPBELL N.A. (1993) La régulation du milieu interne chez les animaux. *In : Biologie*. 3^{ème} ed. Saint Laurent: Editions du renouveau pédagogique, 876-906.

CARLSON GP. (1983) Thermoregulation and fluid balance in the exercising horse. *In*: SNOW DH, PERSSON SGB, ROSE RJ, eds. *Equine exercise physiology*. Cambridge, Granta, 291-305.

CARLSON GP. (1987) Hematology and body fluids in the equine athlete: a review. *In*: GILLESPIE JR, ROBINSON NE, eds. *Equine exercise physiology vol 2*, Davis, CA: ICEEP, 393-425.

COENEN M. (2005) Exercise and stress: impact on adaptative processes involving water and electrolytes. *Livestock Prod. Science*, **92**, 131-145.

DESJARDIN I, CADORE JL. (2006) Analyses sanguines equines II Biochimie. *Prat. Vet. Eq.*, **38**, 7-15.

DUSTERDIECK KF, SCOTT HC, EBERHART SW, WOODY KA, COENEN M. (1999) Electrolytes and glycerol supplementation improve water intake by horse performing a simulated 60 km endurance ride. *Eq. Vet. J. Suppl.*, **30**, 418-424.

ECKER GL, LINDINGER MI. (1995) Effects of terrain, speed, temperature and distance on water and ion losses. *Eq. Vet. J. Suppl.*, **18**, 298-305.

GROENENDYK S, ENGLISH PB, ABETZ I. (1988) External balance of water and electrolytes in the horse. *Eq. Vet. J.*, **20**, (3), 189-193.

KERR MG, SNOW DH. (1983) Composition of sweat of the horse during prolonged epinephrine (adrenaline) infusion, heat exposure, and exercise. *Am. J. Vet. Res.*, **44**, (8), 1571-1577.

KRONFELD DS. (2001) Body fluids and exercise: replacement strategies. *J. Eq. Vet. Science*, **21**, (8), 368-375.

LEROUX G, GUETTA F, TUAL-VAURS C. (2005) *Guide des analyses vétérinaires*. Vet-France, 231p.

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.

LOPEZ I, ESTEPA JC, MENDOZA FJ, MAYER-VALOR R, AGUILERA-TEJERO E. (2006) Fractionation of calcium and magnesium in equine serum. *Am. J. Vet. Res.*, **67**, (3), 463-466.

LORENZO-FIGUERAS M, MERRITT A.M. (2008) Effect of exercise on gastrointestinal function. In: HINCHCLIFF KW, GEOR RJ, KANEPS AJ. *Equine exercise physiology: the science of exercise in the athletic horse*. Philadelphia: Saunders Elsevier, 424-440.

MCCONAGHY FF, HODGSON DR, EVANS DL, ROSE RJ. (1995a) Effect of two types of training on sweat composition. *Eq. Vet. J. Suppl.*, **18**, 285-288.

MCCONAGHY FF, HODGSON DR, EVANS DL, ROSE RJ. (1995b) Equine sweat composition: effects of adreanaline infusion, exercise and training. *Eq. Vet. J. Suppl.*, **20**, 158-164.

MCCONAGHY FF. (1994) Thermoregulation In: HODGSON DR, ROSE RJ. *The athletic horse: principles and practice of equine sports medicine*. Philadelphia: Saunders, 181-202.

MCCUTCHEON LJ, GEOR RJ, HARE MJ, KINGSTON JK, STAEMPFLI HR. (1995) Sweat composition: comparison of collection methods and effects of exercise intensity. *Eq. Vet. J. Suppl.*, **18**, 279-284.

MCCUTCHEON L.J, GEOR RJ. (2008) Thermoregulation and exercise associated head stress. In: HINCHCLIFF KW, GEOR RJ, KANEPS AJ. *Equine exercise physiology: the science of exercise in the athletic horse*. Philadelphia: Saunders Elsevier, 382-396.

MCKEEVER KH, SCALI R, GEISER S, KEARNS CF. (2002) Plasma aldosterone concentration and renal sodium excretion are altered during the first days of training. *Eq. Vet. J. Suppl.*, **34**, 524-531.

MCKEEVER KH, SCHURG WA, JARRETT SH, CONVERTINO VA. (1987) Exercise training-induced hypervolemia in the horse. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **19**, (1), 21-27.

MCKEEVER KH. (2008) Body fluids and electrolytes: responses to exercise and training. In: HINCHCLIFF KW, GEOR RJ, KANEPS AJ. *Equine exercise physiology: the science of exercise in the athletic horse*. Philadelphia: Saunders Elsevier, 328-349.

PICANDET V, DESJARDIN I. (2006) L'analyse urinaire: un examen complémentaire de choix en pratique équine. *Prat. Vet. Eq.*, **38**, 25-30.

PREVEIRAUD L. (2003) *Etude bibliographique comparée de la physiologie du coureur de fond et du cheval d'endurance: métabolismes énergétique et musculaire, et thermorégulation*. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, Lyon. 167p.

ROSE RJ, ARNOLD KS, CHURCH S, PARIS R. (1980) Plasma and sweat electrolyte concentrations in the horse during long distance exercise. *Eq. Vet. J.*, **12**, (1), 19-22.

ROSE RJ, HODGSON DR, SAMPSON D, CHAN W. (1983) Changes in plasma biochemistry in horses competing in 160 km endurance ride. *Australian Vet. J.*, **60**, 101-105.

ROSE RJ, HODGSON DR. (1982) Haematological and plasma biochemical parameters in endurance horses during training. *Eq. Vet. J.*, **14**, (2), 144-148.

ROSE RJ, PURDUE RA, HENSLEY W (1977) Plasma biochemistry alterations in horses during an endurance ride. *Eq. Vet. J.*, **9**, (3), 122-126.

ROSE RJ. (1990) Electrolytes: clinical applications. *Vet. Clin. North Am. Eq. Pract.*, **6**, (2), 281-293.

ROSE RJ. (1986a) Endurance exercise in the horse - a review. Part I. *Br. Vet. J.*, **142**, 532-540.

ROSE RJ. (1986b) Endurance exercise in the horse - a review. Part II. *Br. Vet. J.*, **142**, 542-550.

SCHOTT C.H.(2004) Renal physiology. In : REED S.M, BAYLY W.M, SELLON D.C. *Equine internal medicine*. 2nd ed., Saint Louis: Elsevier Saunders, 1184-1199.

SCHOTT HC, MARLIN DJ, GEOR RJ, HOLBROOK TC, DEATON MC, VINCENT T *et al.* (2006) Changes in selected physiological and laboratory measurements in elite horses competing in a 160 km endurance ride. *Eq. Vet. J. Suppl.*, **36**, 37-42.

SCOTT HC, MCGLADE KS, MOLANDER HA, LEROUX AJ, HINES MT. (1997) Body weight, fluid, electrolyte, and hormonal changes in horses competing in 50- and 100-mile endurance rides. *Am. J. Vet. Res.*, **58**, (3), 303-309.

SLOET VAN OLD RUITENBORGH-OOSTERBAAN MM, WENSING T, BARNEVELD A, BREUKINK HJ. (1991) Heart rate, blood biochemistry and performance of horses competing in a 100 km endurance ride. *Vet. Record*, **23**, 175-179.

SNOW D.H, KERR MG, NIMMO MA, ABOTT EM. (1982) Alteration in blood, sweat, urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse. *Vet. Record*, **17**, 377-384.

WELLMAN M.L, DIBARTOLA S.P, KOHN C.W. (2000) Applied physiology of body fluids in dogs and cats. *In: DIBARTOLA S.P. Fluids, electrolytes and acid-base disorders in small animal practice*. 3rd ed. Philadelphia: Saunders Elsevier, 3-26.

ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés lors de la première course du groupe 1

				KEBAR	NAID	NAYA	KEBAR	NAID	NAYA	KEBAR	NAID	NAYA
sang				Pré-course			course			Post course		
GR	8,2-12,4	par dm ³	LDFD	8,27	8,8	7,870				9,26	9,21	8,670
Leuco	6,2-10,7	par mm ³	LDFD	6 880	6 540	7 210				18 610	11 260	14 470
Hb	12,5-17,3	g/100 ml	LDFD	14,4	14,3	12,8				16,5	15,1	14,6
Ht	40-50	%	LDFD	40,8	39,9	36,7	51	69	59,5	45,3	41,5	40,7
TGM	12,3-19,7	picog	LDFD	17,41	16,25	16,26				17,82	16,4	16,84
VGM	41-50,3	μ ³	LDFD	49,33	45,34	46,63				48,92	45,06	16,94
GR/GB			LDFD	1,2	1,35	1,09				0,5	0,82	0,6
Ht/Hb			LDFD	2,83	2,79	2,87				2,755	2,75	2,79
CCMH	31,0-38,6	%	LDFD	35,29	35,84	34,88				36,42	36,39	35,87
PNN	63-67	%	LDFD	61,5	43,4	57,5				90,1	81,8	92,5
PNE	0-4	%	LDFD	1,3	2	2				0,2	0,6	0,3
PNB	0-2	%	LDFD	0,7	0,7	1				0,2	2,7	4,2
Mono	1-6	%	LDFD	3,4	4,1	2,4				1,6	1,6	1,2
Gd Lympho		%	LDFD	0,1	0,1	0,2				0,1	0,1	0
Pt Lympho	38-42	par mm ³	LDFD	33,1	49,8	37				7,9	13,3	1,9
PNN	2 260-8 580	par mm ³	LDFD	4 231	2 838	4 146				16 768	9 211	13 385
PNE	0-1 000	par mm ³	LDFD	89	121	144				37	68	43
PNB	0-290	par mm ³	LDFD	48	46	72				37	304	608
Mono	0-1 000	par mm ³	LDFD	234	268	173				298	180	174
Gd Lympho		par mm ³	LDFD	7	7	14				19	11	0
Pt Lympho	1 500-7 700	par mm ³	LDFD	2 277	3 257	2 668				1 470	1 498	275
Plaquettes	100-600 000	par mm ³	LDFD	163 000	157 000	195 000				172 000	166 000	198 000
Urée	0,10-0,24	g/l	LDFD	0,37	0,4	0,42				0,88	0,74	0,74
Créat	9-20	mg/l	LDFD	13,4	16,6	15,6	16,5	19,8	18,1	20,3	19,7	18,5
PT	50-68	g/l	LDFD	77,5	74,4	70,4				83,3	79,4	73,8
Alb	27-40	g/l	LDFD	38,2	36,8	36,4				41,8	39	39,1
Glob	17-34	g/l	LDFD	39,3	37,6	34				41,5	40,4	34,7
Na	130-147	mmol/l	LDFD	142	141	135	138	137	131	133	132	131
K	3,3-5,3	mmol/l	LDFD	4,7	4,9	5,3	4	6,3	7,8	5,5	6,6	7,4
Cl	92-100	mmol/l	LDFD	97	92	91	85	90	87	81	83	85
Ca	112-136	mg/l	LDFD	127,5	124,3	124,2	139,5	125,3	132,6	139,8	128,4	128,1

Annexe 2 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés pour la première course du groupe 1

				KEBAR	NAID	NAYA	KEBAR	NAID	NAYA	KEBAR	NAID	NAYA
urine				Pré-course			course			Post course		
Créat	1 560-2 325	mg/l	LDFD	3 144	1 340	1 486	3 058	1 440	1 814	3 576	2 716	1 734
Na		mmol/l	LDFD	80	88	59	21	32	24	21		24
K		mmol/l	LDFD	256,4	241,5	257	302,5	220,7	246,6	143,1	137,2	148
Cl		mmol/l	LDFD	374	312	278	338	159	120	190	182	153
Clear Na	0,02-1,0	%	LDFD	0,24	0,77	0,46	0,08	0,32	0,18	0,09	0,00	0,20
Clear K	15-65	%	LDFD	23,3	61,1	50,9	40,8	48,2	31,5	14,8	15,1	21,3
Clear Cl	0,04-1,6	%	LDFD	1,64	4,20	3,21	2,15	2,43	1,38	1,33	1,59	1,92
pH labo	7,0-9,0	U	NVBC	7,7	8,2	7,8	7,7	8,3	7,4	6,2	7	6,9
Ca	1,5-5	mmol/l	NVBC	4,95	1,24	3,58	7,2	1,14	6,5	>25	>25	>25
P	0,8	mmol/l	NVBC	1,27	0,85	0,73	1,42	0,96	1,44	1,61	1,34	1,23
Mg	8-30	mmol/l	NVBC	16,9	14,5	13,9	4,1	6	16,5	12,3	36,6	29,6
K	220	mmol/l	NVBC	>300	>300	>300	>300	>300	267	173	177	184
Na	12	mmol/l	NVBC	72	49	73	<10	18	<10	12	<10	<10
Cl	25	mmol/l	NVBC	232	137	158	60	53	37	33	38	23
Bicarbonates		mmol/l	NVBC	140	212	215	250	265	240	152	149	171
TCO2			NVBC	128	181	143	106	156	94	17	33	34
pH	7,0-9,0	U	manuel	8,1	8,5	7,9	7,7	8,3	7,4	6,5	7,1	7,9
densité	1,020-1,050		manuel	1,05	1,038	1,038	>1,050	1,032	1,041	1,05	1,047	1,038

Annexe 3 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés sur la deuxième course du groupe 1

			KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR
sang			Pré-course				Course				Post-course			
GR	par dm ³	LDFD	7,910	7,740	6,590	8,400					9,760	8,570	8,100	9,370
Leuco	par mm ³	LDFD	7 740	6 250	6 680	10 190					19 210	10 860	12 780	15 230
Hb	g/100 ml	LDFD	14,2	12,6	11,4	12,9					17,6	13,4	13,9	14,7
Ht	%	LDFD	38,3	32,8	29,8	35,5					47	36,7	37,2	40,2
TGM	picog	LDFD	17,95	16,28	17,3	15,36					18,03	15,64	17,16	15,69
VGM	μ ³	LDFD	48,42	42,38	45,22	42,26					48,16	42,82	45,93	42,9
GR/GB		LDFD	1,02	1,24	0,99	0,82					0,51	0,79	0,63	0,62
Ht/Hb		LDFD	2,7	2,6	2,61	2,75					2,67	2,74	2,68	2,73
CCMH	%	LDFD	37,08	38,41	38,26	36,34					37,45	36,51	37,37	36,57
PNN	%	LDFD	67,2	53,2	60	49,2					94,2	84,8	92,7	88,5
PNE	%	LDFD	6,5	3	1	3,3					0,1	0,3	0,1	0,2
PNB	%	LDFD	1	1,6	0	1,1					2,7	3	0	2,5
Mono	%	LDFD	3,2	2,9	4	2,2					2,1	3	1,5	1,5
Gd Lympho	%	LDFD	0,4	0,2	2	0,4					0	0,2	0	0
Pt Lympho	par mm ³	LDFD	21,8	39,2	33	43,9					1	8,8	5,8	7,4
PNN	par mm ³	LDFD	5 201	3 325	4008	5 013					18 096	9 209	11 847	13 479
PNE	par mm ³	LDFD	503	188	67	336					19	33	13	30
PNB	par mm ³	LDFD	77	100	0	112					519	326	0	381
Mono	par mm ³	LDFD	248	181	267	224					403	326	192	228
Gd Lympho	par mm ³	LDFD	31	13	134	41					0	22	0	0
Pt Lympho	par mm ³	LDFD	1 687	2450	2 204	4 473					192	956	741	1 127
Plaquettes	par mm ³	LDFD	198 000	162 000	661 000	149 000					179 000	140 000	688 000	156 000
Urée	g/l	LDFD	0,34	0,32	0,37	0,39					0,78	.	0,64	0,63
Créat	mg/l	LDFD	10,2	12,3	11,9	11,6	14,6	17,6	18,2	17,9	19,5	.	16,6	17,3
PT	g/l	LDFD	68,3	68,6	67,2	65,9					83,1	.	64,3	65,7
Alb	g/l	LDFD	32,6	32,3	34,7	32,1					39,4	.	34,2	33,1
Glob	g/l	LDFD	35,7	36,3	32,5	33,8					43,7	.	30,1	32,6
Na	mmol/l	LDFD	141	135	137	138	133	137	135	137	130	.	133	136
K	mmol/l	LDFD	3,5	5,1	3,7	3,2	2,9	3,3	3	2,7	5,1	.	3,7	3,1
Cl	mmol/l	LDFD	98	94	95	96	90	94	92	94	87	.	91	93
Ca	mg/l	LDFD	119	122,2	118,8	119,3	119,9	122,3	121,7	118,8	105,2	.	121,2	115,3
Ca	mmol/l	NVBC	2,39		2,11		2,43		2,24		3,01	.	2,26	
P	mmol/l	NVBC	1,27		0,43		0,55		0		1,73	.	0,27	
Mg	mmol/l	NVBC	0,7		0,7		0,7		0,9		0,9	.	0,8	

Annexe 4 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés sur la deuxième course du groupe 1

			KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR
urine			Pré-course				Course				Post-course			
Créat	mg/l	LDFD	1 398	1 364	1 142	1 158	2 504	1 258	2 374	2 372	2 616	.	2 108	2 112
Na	mmol/l	LDFD	66	89	105	70	35	40	22	36		.	20	33
K	mmol/l	LDFD	278,8	242,5	258,9	289,2	246,8	246,7	139,7	226,1	155,7	.	109,6	221,7
Cl	mmol/l	LDFD	289	253	303	261	378	144	160	159	159	.	130	123
Clear Na	%	LDFD	0,34	0,59	0,80	0,51	0,15	0,41	0,12	0,20	0,00	.	0,12	0,20
Clear K	%	LDFD	58,1	42,9	72,9	90,5	49,6	104,6	35,7	63,2	22,8	.	23,3	58,6
Clear Cl	%	LDFD	2,15	2,43	3,32	2,72	2,45	2,14	1,33	1,28	1,36	.	1,12	1,08
pH labo	U	NVBC	7,8	7,8	7,6	8	7,5	8,4	6,6	7,9	6,6	.	6,7	8,2
Ca	mmol/l	NVBC	3,72	2,95	4,04	3,55	6,84	0,65	>25	1	>25	.	>25	0,88
P	mmol/l	NVBC	0,6	0,53	0,46	1,84	1,73	0,75	1,5	1,53	1,1	.	1,93	0,49
Mg	mmol/l	NVBC	16,5	25	17,3	5,4	10,9	5,7	18,6	2,3	10,4	.	22,4	10
K	mmol/l	NVBC	>300	>300	>300	>300	>300	>300	190	>300	215	.	149	>300
Na	mmol/l	NVBC	71	98	113	20	16	50	13	24	10	.	14	76
Cl	mmol/l	NVBC	234	194	234	27	129	74	74	41	28	.	43	170
Bicarbon	mmol/l	NVBC	137	204	179	293	187	276	129	283	197	.	120	206
TCO2		NVBC	153	171	150	110	101	234	45	130	52	.	42	247
pH	U	manuel	7,4	7,4	7,4	8,1	8	8,5	7,1	8,5	7,7	.	7,4	8,1
densité		manuel	1,038	1,036	1,034	1,035	1,05	1,032	1,048	1,039	1,046	.	1,048	1,038

Annexe 5 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés au cours de la première course du groupe 2

SANG	Normes	Unité	Labo	HALAN	NAZIA	ZAAF	HALAN	NAZIA	ZAAF	HALAN	NAZIA	ZAAF
				Pré-course			Course			Post- course		
GR	8,2-12,4	par dm ³	LDFD	7,680	7,860	7,030				9,000	9,430	9,350
Leuco	6,2-10,7	par mm ³	LDFD	8 150	6 890	6 620				16 570	12 640	16 100
Hb	12,5-17,3	g/100 ml	LDFD	12,8	12,6	12,2				15,4	15,6	16,8
Ht	40-50	%	LDFD	38,4	37,1	35,7	32	30	26	43,1	43,2	46,6
TGM	12,3-19,7	picog	LDFD	16,67	16,03	17,35				17,11	16,54	17,97
VGM	41-50,3	μ ³	LDFD	50	47,2	50,78				47,89	45,81	49,84
GR/GB			LDFD	0,94	1,14	1,06				0,54	0,75	0,58
Ht/Hb			LDFD	3	2,94	2,93				2,8	2,77	2,77
CCMH	31,0-38,6	%	LDFD	33,33	33,96	34,17				35,73	36,11	36,05
PNN	63-67	%	LDFD	64,8	54,2	45,1				85,4	69,8	69,6
PNE	0-4	%	LDFD	1	1,8	2,4				0,1	0,5	1,4
PNB	0-2	%	LDFD	0,4	0,4	0,3				1,9	1	2,1
Mono	1-6	%	LDFD	0,7	2	2,1				1,1	3	1,1
Gd Lympho		%	LDFD	0,1	0,3	0,4				0,1	0	0
Pt Lympho	38-42	par mm ³	LDFD	33,1	41,4	49,8				11,5	25,8	25,9
PNN	2 260-8 580	par mm ³	LDFD	5 281	3 734	2 986				14 151	8 823	11 206
PNE	0-1 000	par mm ³	LDFD	82	124	159				17	63	225
PNB	0-290	par mm ³	LDFD	33	28	20				315	126	338
Mono	0-1 000	par mm ³	LDFD	57	138	139				182	379	177
Gd Lympho		par mm ³	LDFD	8	21	26				17	0	0
Pt Lympho	1 500-7 700	par mm ³	LDFD	2 698	2 852	3 297				1 906	3 261	4 170
Plaquettes	100-600 000	par mm ³	LDFD	164000	163 000	146 000				146 000	#####	109 000
Urée	0,10-0,24	g/l	LDFD	0,56	0,65	0,61				0,7	0,65	0,84
Créat	9-20	mg/l	LDFD	18,1	20,3	17,9	17,6	16,8	17,5	18,8	16,7	19,7
PT	50-68	g/l	LDFD	77,5	65	73,5				80,8	66,8	82
Alb	27-40	g/l	LDFD	38,3	39	36				41,4	40,9	41,6
Glob	17-34	g/l	LDFD	39,2	26	37,5				39,4	25,9	40,4
Na	130-147	mmol/l	LDFD	138	138	136	140	138	139	133	136	132
K	3,3-5,3	mmol/l	LDFD	10,2	9,3	11	3,4	3,4	2,7	3,1	3,9	2,8
Cl	92-100	mmol/l	LDFD	95	95	94	96	99	96	89	96	86
Ca	112-136	mg/l	LDFD	117,5	123,6	118,5	123,4	123	116	126,7	134,9	123,2

Annexe 6 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés sur la première course du groupe 2

				HALAN	NAZIA	ZAAF	HALAN	NAZIA	ZAAF	HALAN	NAZIA	ZAAF
urine				Pré-course			course			Post course		
Créat	1 560-2 325	mg/l	LDFD	1 816	1 568	1 846	2 684	1 006	1 814	2 208	1 334	2 374
Na		mmol/l	LDFD	30	44	33	30	55	33	34	46	22
K		mmol/l	LDFD	294	250	256	328	326	384	244	223,2	192
Cl		mmol/l	LDFD	326	312	348	155	246	221	121	155	105
Clear Na	0,02-1,0	%	LDFD	0,22	0,41	0,24	0,14	0,67	0,23	0,22	0,42	0,14
Clear K	15-65	%	LDFD	28,7	34,8	22,6	63,3	160,1	137,2	67,0	71,6	56,9
Clear Cl	0,04-1,6	%	LDFD	3,42	4,25	3,59	1,06	4,15	2,22	1,16	2,02	1,01
pH labo	7,0-9,0	U	NVBC	7,5	7,3	7,1	7,6	7,8	8,2	7,1	7,9	5,7
Ca	1,5-5	mmol/l	NVBC	14	>25	>25	4,78	2,62	3,48	11,7	4,12	21,8
P	0,8	mmol/l	NVBC	0,84	0,53	0,9	1,1	0,46	0,82	0,99	0,62	1,24
Mg	8-30	mmol/l	NVBC	9,4	10,2	14,5	174	11,8	3,8	5	10,6	5
K	220	mmol/l	NVBC	194	182	200	173	196	195	159	164	102
Na	12	mmol/l	NVBC	24	15	<10	<10	29	<10	<10	14	<10
Cl	25	mmol/l	NVBC	260	254	316	42	132	123	18	97	19
Bicarbonates		mmol/l	NVBC	-42	-57	-106	141	93	82	151	81	93
TCO2			NVBC	86	64	54	61	113	171	17	107	1
pH	7,0-9,0	U	manuel	7,4	7,1	6,8	7,5	8,1	8,1	7,4	7,7	6,1
densité	1,020-1,050		manuel	1,036	1,033	1,038	1,038	1,024	1,036	1,034	1,028	1,034

Annexe 7 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés sur la deuxième course du groupe 2

				BELIK	NAZIA	ZAAF	BELIK	NAZIA	ZAAF	BELIK	NAZIA	ZAAF
				Pré-course			Course			Post- course		
SANG	Normes	Unité	Labo									
GR	8,2-12,4	par dm ³	LDFD	9,110	7,320	6,880				9,770	9260,000	8,540
Leuco	6,2-10,7	par mm ³	LDFD	7 260	7 080	6 570				13 100	14 100	11 380
Hb	12,5-17,3	g/100 ml	LDFD	15,2	12,6	12,7				16,4	15,5	15,5
Ht	40-50	%	LDFD	40,6	33,8	33				43,6	42,5	41,2
TGM	12,3-19,7	picog	LDFD	16,68	17,21	18,46				16,79	16,74	18,15
VGM	41-50,3	μ ³	LDFD	44,57	46,17	47,97				44,63	45,9	48,24
GR/GB			LDFD	1,25	1,03	1,05				0,75	0,66	0,75
Ht/Hb			LDFD	2,67	2,62	2,6				2,66	2,74	2,66
CCMH	31,0-38,6	%	LDFD	37,44	37,28	38,48				37,61	36,47	37,62
PNN	63-67	%	LDFD	67,8	67,4	60,6				90,9	87,8	87,8
PNE	0-4	%	LDFD	2,2	1,3	0,9				0,1	0,3	0,1
PNB	0-2	%	LDFD	0	0,1	0				0,1	0	0,2
Mono	1-6	%	LDFD	3,5	3,6	3				2,6	3,1	2,3
Gd Lympho		%	LDFD	0,3	0,2	0,5				0	0,1	0
Pt Lympho	38-42	par mm ³	LDFD	26,3	27,5	35,1				6,4	8,8	9,7
PNN	2 260-8 580	par mm ³	LDFD	4 922	4 772	3 981				11 908	12 380	9 992
PNE	0-1 000	par mm ³	LDFD	160	92	59				13	42	11
PNB	0-290	par mm ³	LDFD	0	7	0				13	0	23
Mono	0-1 000	par mm ³	LDFD	254	255	197				341	437	262
Gd Lympho		par mm ³	LDFD	22	14	33				0	14	0
Pt Lympho	1 500-7 700	par mm ³	LDFD	1 909	1 947	2 306				838	1 241	1 104
Plaquettes	100-600 000	par mm ³	LDFD	154000	101 000	148 000				153 000	148 000	147 000
Urée	0,10-0,24	g/l	LDFD	0,35	0,38	0,42				0,56	0,72	0,67
Créat	9-20	mg/l	LDFD	12,9	13,6	13,1	14,6	16,5	14,4	13,1	17,5	14
PT	50-68	g/l	LDFD	74	65,1	71,8				80	76,1	77,6
Alb	27-40	g/l	LDFD	36	37,2	36,1				40,7	43,2	39,7
Glob	17-34	g/l	LDFD	38	27,9	35,7				39,3	32,9	37,9
Na	130-147	mmol/l	LDFD	142	142	142	146	143	143	142	142	140
K	3,3-5,3	mmol/l	LDFD	6,9	6,7	5	3,8	3,7	3,2		5,6	4,5
Cl	92-100	mmol/l	LDFD	99	99	98	98	98	96	96	91	93
Ca	112-136	mg/l	LDFD	120,3	123	119,2	124,1	115	127	123,7	134,8	119,8

Annexe 8 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés sur la deuxième course du groupe 2

				BELIK	NAZIA	ZAAF	BELIK	NAZIA	ZAAF	BELIK	NAZIA	ZAAF
urine				Pré-course			course			Post course		
Créat	1 560-2 325	mg/l	LDFD	1 540	1 464	1 730	3 156	2 000	2 336	3 656	2 446	3 150
Na		mmol/l	LDFD	47	43	42	40		28		22	
K		mmol/l	LDFD	418,8	351,3	358	348,2	306	326	277,8	197,2	239,8
Cl		mmol/l	LDFD	346	289	329	196	172	191	194	146	195
Clear Na	0,02-1,0	%	LDFD	0,28	0,28	0,22	0,13	0,00	0,12	0,00	0,11	0,00
Clear K	15-65	%	LDFD	50,8	48,7	54,2	42,4	68,2	62,8		25,2	23,7
Clear Cl	0,04-1,6	%	LDFD	2,93	2,71	2,54	0,93	1,45	1,23	0,72	1,15	0,93
pH labo	7,0-9,0	U	NVBC	7,9	7,9	7,7	8	7,9	8,2	7,3	7,2	7,2
Ca	1,5-5	mmol/l	NVBC	2,84	4,59	8,6	5,74	2,81	1,68	>25	>25	>25
P	0,8	mmol/l	NVBC	0,57	0,56	0,58	1,25	0,8	0,86	1,32	0,84	1,23
Mg	8-30	mmol/l	NVBC	18,3	24,2	23,8	7,1	17,7	15,3	30,6	32,4	29,2
K	220	mmol/l	NVBC	>300	>300	>300	>300	287	289	>300	153	210
Na	12	mmol/l	NVBC	51	40	22	<10	21	10	<10	<10	<10
Cl	25	mmol/l	NVBC	236	228	272	77	81	118	42	27	32
Bicarbonates		mmol/l	NVBC	115	112	50	233	227	181	268	136	188
TCO2			NVBC	190	154	101	160	145	163	49	29	37
pH	7,0-9,0	U	manuel	7,4	7,2	7,2	7,9	7,9	7,9	7,1	7,1	7,1
Densité	1,020-1,050		manuel	1,036	1,037	1,038	1,05	1,038	1,042	>>1,050	1,045	1,056

Annexe 9 : Valeurs des paramètres sanguins mesurés au cours de l'entraînement sur la saison 2008

				KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	HALAN	NAZIA	ZAAF	BELIK	Kebar	Naid	Naya	Bibor	Halan	Nazia	Zaaf	Belik
SANG	Normes	Unité	Labo	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1
GR	8,2-12,4	par dm ³	LDFD	8,600	7,150	6,780	7,500	7,580	7,960	7,340	7,840	7,29	7,39	6,920	7,970	6,970	7,350	6,990	6,790
Leuco	6,2-10,7	par mm ³	LDFD	7 480	5 140	5 310	9 180	6 890	5 990	7 670	8 060	5 910	5 140	6 100	7 560	7 170	6 320	7 790	7 080
Hb	12,5-17,3	g/100 ml	LDFD	15,4	11,7	11,3	12	12,8	13,2	13,6	12,7	13	12,1	11,4	12,3	11,8	11,9	12,3	10,9
Ht	40-50	%	LDFD	41,1	31,2	30,9	31,9	34,7	35	35,7	34,6	34,7	32,7	31,8	34,3	32,8	32,6	33,9	29,2
TGM	12,3-19,7	picog	LDFD	17,91	16,36	16,67	16	16,89	16,58	18,53	16,2	17,83	16,37	16,47	15,43	16,93	16,19	17,6	16,05
VGM	41-50,3	μ ³	LDFD	47,79	43,64	45,58	42,53	45,78	43,97	48,64	44,13	47,6	44,25	45,95	43,04	47,06	44,35	48,5	43
GR/GB			LDFD	1,15	1,39	1,28	0,82	1,1	1,33	0,96	0,97	1,23	1,44	1,13	1,05	0,97	1,16	0,9	0,96
Ht/Hb			LDFD	2,67	2,67	2,73	2,66	2,71	2,65	2,63	2,72	2,67	2,7	2,79	2,79	2,78	2,74	2,76	2,68
CCMH	31,0-38,6	%	LDFD	37,47	37,5	36,57	37,62	36,89	37,71	38,1	36,71	37,46	37	35,85	35,86	35,98	36,5	36,28	37,33
PNN	63-67	%	LDFD	65,7	51,6	58,8	75,3	68,9	58,2	47,1	65,4	61,6	48,9	62,8	52,3	52,7	63,2	51,8	80,8
PNE	0-4	%	LDFD	4,8	3,3	3,4	2,2	6,3	2,3	2,5	3,6	2,7	5,1	2,4	4,2	2,2	2,3	2,2	1,5
PNB	0-2	%	LDFD	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	5
Mono	1-6	%	LDFD	5,5	3,4	5,6	1,9	3,3	3,5	3,6	2,9	4,7	2,5	3,3	2,1	1,7	2,6	3,5	2,7
Gd Lympho		%	LDFD	0,7	0,8	0,5	0,2	0,5	0,6	0,6	0,2	0,5	0,7	0,4	0,1	0,5	0,3	0,2	0,1
Pt Lympho	38-42	par mm ³	LDFD	23,1	40,5	31,5	20,1	20,6	35,2	45,9	27,6	30,1	42,4	30,8	40,8	42,5	31,2	41,8	10
PNN	2 260-8 580	par mm ³	LDFD	4 914	2 652	3 122	6 913	4 774	3 486	3 613	5 271	3 641	2 513	3 831	3 954	3 779	3 994	4 035	5 721
PNE	0-1 000	par mm ³	LDFD	359	170	181	202	434	138	192	290	160	262	146	318	158	145	171	106
PNB	0-290	par mm ³	LDFD	22	26	16	37	34	18	31	32	30	26	24	45	36	32	47	254
Mono	0-1 000	par mm ³	LDFD	411	175	297	174	227	210	276	234	278	129	201	159	122	164	273	191
Gd Lympho		par mm ³	LDFD	52	41	27	18	34	36	46	16	30	36	24	8	36	19	16	7
Pt Lympho	1 500-7 700	par mm ³	LDFD	1 728	2 082	1 673	1 845	1 419	2 108	3 521	2 225	1 779	2 179	1 879	3 084	3047	1 972	3 256	708
Plaquettes	100-600 000	par mm ³	LDFD	142 000	127 000	149 000	175 000	153 000	122 000	129 000	158 000	155 000	149 000	174 000	190 000	156 000	104 000	170 000	133 000
Urée	0,10-0,24	g/l	LDFD	0,29	0,27	0,29	0,32	0,28	0,37	0,35	0,43	0,38		0,36	0,48	0,35	0,51	0,39	0,3
Créat	9-20	mg/l	LDFD	9,9	13,1	11,5	12,1	12,8	12,9	12,6	13,6	10,8	13,2	12,8	14,4	13,1	14,6	13,6	12,1
PT	50-68	g/l	LDFD	69,4	63,7	65,3	65,2	71,2	58,2	66,6	82,9	69,3	69,1	71	71,7	71,3	60,1	70,5	66
Alb	27-40	g/l	LDFD	37,6	33,2	35,8	36	34,3	34,7	34,1	38,7	36	34,3	36,7	36,1	35	36	35,2	32,9
Glob	17-34	g/l	LDFD	31,8	30,5	30	29,2	37	24	32,5	44,2	33,3	34,8	34,3	35,6	36,3	24,1	35,3	33,1
Na	130-147	mmol/l	LDFD	135	134	132	134	138	135	135	145	138	138	136	139	140	139	137	137
K	3,3-5,3	mmol/l	LDFD	4,9	3,9	6,5	4,7	4,2	5,4	4,1	2,7	3,4	3,8	5,4	3,9	4,4	4,2	4,3	4,3
Cl	92-100	mmol/l	LDFD	100	99	98	98	101	100	98	104	96	96	96	93	98	96	94	97
Ca	112-136	mg/l	LDFD								121,9	124,9	113,1	125,8	120,1	123,1	139	118,6	119,4

		KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	HALAN	NAZIA	ZAAF	BELIK	KEBAR	NAID	NAYA	HALAN	NAZIA	ZAAF	BELIK
SANG	Unité	BM1	BM1	BM1	BM1	BM1	BM1	BM1	BM1	C1A	C1A	C1A	C1A	C1A	C1A	C1A
GR	par dm ³	7,42	7,93	7,350	8,350	7,490	7,370	6,780	6,940	8,27	8,8	7,870	7,680	7,860	7,030	9,110
Leuco	par mm ³	6 130	6 790	7 350	8 260	7 290	5 720	6 520	6 410	6 880	6 540	7 210	8 150	6 890	6 620	7 260
Hb	g/100 ml	13,3	12,9	11,9	12,8	12,1	12,2	12	11,1	14,4	14,3	12,8	12,8	12,6	12,2	15,2
Ht	%	35,6	35,2	32,9	35,6	35,2	32,5	32,8	30	40,8	39,9	36,7	38,4	37,1	35,7	40,6
TGM	picog	17,92	16,27	16,19	15,33	16,15	16,55	17,7	15,99	17,41	16,25	16,26	16,67	16,03	17,35	16,68
VGM	μ ³	47,98	44,39	44,76	42,63	47	44,1	48,38	43,23	49,33	45,34	46,63	50	47,2	50,78	44,57
GR/GB		1,21	1,17	1	1,01	1,03	1,29	1,04	1,08	1,2	1,35	1,09	0,94	1,14	1,06	1,25
Ht/Hb		2,68	2,73	2,76	2,78	2,91	2,66	2,73	2,7	2,83	2,79	2,87	3	2,94	2,93	2,67
CCMH	%	37,36	36,65	36,17	35,96	34,38	37,54	36,59	37	35,29	35,84	34,88	33,33	33,96	34,17	37,44
PNN	%	66,5	51,5	64,2	54,8	57,9	58,9	53,7	69,1	61,5	43,4	57,5	64,8	54,2	45,1	67,8
PNE	%	1,9	3,4	2,3	6,3	3	3,1	2,5	1	1,3	2	2	1	1,8	2,4	2,2
PNB	%	0,5	0,4	0,6	0,5	0,2	0,8	0,3	1,1	0,7	0,7	1	0,4	0,4	0,3	0
Mono	%	5	4,5	5,1	2,8	2,5	3,6	4,5	2,9	3,4	4,1	2,4	0,7	2	2,1	3,5
Gd Lympho	%	0,2	0,9	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,3
Pt Lympho	par mm ³	27	39,4	27,5	35,5	36,1	33,5	38,7	25,8	33,1	49,8	37	33,1	41,4	49,8	26,3
PNN	par mm ³	4 015	3 497	4 719	4 526	4 221	3 369	3 501	4 429	4 231	2 838	4 146	5 281	3 734	2 986	4 922
PNE	par mm ³	116	231	169	520	219	177	163	64	89	121	144	82	124	159	160
PNB	par mm ³	31	27	44	41	15	46	20	71	48	46	72	33	28	20	0
Mono	par mm ³	307	306	375	231	182	206	293	186	234	268	173	57	138	139	254
Gd Lympho	par mm ³	12	61	29	17	29	11	26	13	7	7	14	8	21	26	22
Pt Lympho	par mm ³	1 655	2 675	2 021	2 932	2 632	1 916	2 523	1 654	2 277	3 257	2 668	2 698	2 852	3 297	1 909
Plaquettes	par mm ³	169 000	142 000	188 000	188 000	167 000	109 000	139 000	150 000	163 000	157 000	195 000	164 000	163 000	146 000	154 000
Urée	g/l									0,37	0,4	0,42	0,56	0,65	0,61	0,35
Créat	mg/l									13,4	16,6	15,6	18,1	20,3	17,9	12,9
PT	g/l	68,8	66,8	66,9	66,6	71,4	60	64,5		77,5	74,4	70,4	77,5	65	73,5	74
Alb	g/l									38,2	36,8	36,4	38,3	39	36	36
Glob	g/l									39,3	37,6	34	39,2	26	37,5	38
Na	mmol/l									142	141	135	138	138	136	142
K	mmol/l									4,7	4,9	5,3	10,2	9,3	11	6,9
Cl	mmol/l									97	92	91	95	95	94	99
Ca	mg/l									127,5	124,3	124,2	117,5	123,6	118,5	120,3

		KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	HALAN	NAZIA	ZAAF	KEBAR	NAID	NAYA	HALAN	NAZIA	ZAAF
SANG	Unité	L2	L2	L2	L2	L2	L2	L2	BM2	BM2	BM2	BM2	BM2	BM2
GR	par dm ³	5,920	6,870	6,170	8,050	6,790	6,600	6,070	7,600	7,190	6,660	7,510	6,640	6,100
Leuco	par mm ³	5 300	4 920	5 090	8 880	6 070	5 430	5 390	5 790	5 360	5 020	7 550	6 250	5 430
Hb	g/100 ml	10,3	11,1	10,3	12,2	11,2	10,8	10,6	13,5	11,2	10,8	11,5	11	9,8
Ht	%	27,8	29,1	27,7	33,9	30,4	28,9	28,1	35,2	29,6	28,6	30,6	30	26,7
TGM	picog	17,4	16,16	16,69	15,16	16,49	16,36	17,46	17,76	15,58	16,22	12,31	16,57	16,07
VGM	μ ³	46,96	42,36	44,89	42,11	44,77	43,79	46,29	46,32	41,17	42,94	40,75	45,18	43,77
GR/GB		1,12	1,4	1,21	0,91	1,12	1,22	1,13	1,31	1,34	1,33	0,99	1,06	1,12
Ht/Hb		2,7	2,62	2,69	2,78	2,71	2,68	2,65	2,61	2,64	2,65	2,66	2,73	2,72
CCMH	%	37,05	38,14	37,18	35,99	36,84	37,37	37,72	38,35	37,84	37,76	37,58	36,67	36,7
PNN	%	66,5	47,6	61,5	54,6	55,4	52,6	47,8	62,3	52,9	61,5	52,6	58,6	60
PNE	%	4,9	3,2	2,8	3,5	1,9	2,1	2	7,6	3,6	4,2	4,8	2	1,5
PNB	%	0,4	0,8	0,4	0,9	4,1	0,1	2,2	0,5	0,5	0,3	0,4	0,9	1,2
Mono	%	3,2	3,4	3,2	2,6	1,9	3	3,7	4,8	3,7	3,8	3	3,1	3,7
Gd Lympho	%	0,3	0,4	0,4	0,3	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,2	0,2	0,4	0,2
Pt Lympho	par mm ³	24,8	44,7	31,8	38,2	36,2	41,7	43,8	24,5	38,9	30,1	39,1	35,1	33,5
PNN	par mm ³	3 525	2 342	3 130	4 878	3 363	2 856	2 576	3 607	2 835	3 087	3 971	3 663	3 258
PNE	par mm ³	260	157	143	311	115	114	108	440	193	211	362	125	81
PNB	par mm ³	21	39	20	80	249	5	119	29	27	15	30	56	65
Mono	par mm ³	170	167	163	231	115	163	199	278	198	191	227	194	201
Gd Lympho	par mm ³	16	20	20	27	36	33	32	23	27	10	15	25	11
Pt Lympho	par mm ³	1 314	2 199	1 619	3 392	2 197	2 264	2 361	1 419	2085	1 511	2 952	2 194	1 819
Plaquettes	par mm ³	147 000	134 000	126 000	184 000	120 000	112 000	130 000	164 000	167 000	155 000	202 000	207 000	142 000
Urée	g/l	0,37	0,38	0,4	0,43	0,26	0,38	0,35						
Créat	mg/l	10,9	12,2	12,7	14	14,2	15,1	13,5						
PT	g/l	60,3	63,1	61,7	64	65,4	60,4	64,9						
Alb	g/l	29,6	30,4	32,6	30,3	31,8	33	32,6						
Glob	g/l	30,7	32,7	29,1	33,7	33,6	27,4	32,3						
Na	mmol/l	139	138	138	139	139	136	137						
K	mmol/l	3,8	4,2	4,6	4,3	4,7	4,8	3,8						
Cl	mmol/l	97	100	98	96	101	97	98						
Ca	mg/l	113,7	114,4	115,6	116,1	119	125,5	116,9						

		KEBAR	NAID	NAYA	BIBOR	HALAN	NAZIA	ZAAF
SANG	Unité	C2A	C2A	C2A	C2A	C2A	C2A	C2A
GR	par dm ³	7,910	7,740	6,590	8,400	7,320	6,880	7,910
Leuco	par mm ³	7 740	6 250	6 680	10 190	7 080	6 570	7 740
Hb	g/100 ml	14,2	12,6	11,4	12,9	12,6	12,7	14,2
Ht	%	38,3	32,8	29,8	35,5	33,8	33	38,3
TGM	picog	17,95	16,28	17,3	15,36	17,21	18,46	17,95
VGM	μ ³	48,42	42,38	45,22	42,26	46,17	47,97	48,42
GR/GB		1,02	1,24	0,99	0,82	1,03	1,05	1,02
Ht/Hb		2,7	2,6	2,61	2,75	2,62	2,6	2,7
CCMH	%	37,08	38,41	38,26	36,34	37,28	38,48	37,08
PNN	%	67,2	53,2	60	49,2	67,4	60,6	67,2
PNE	%	6,5	3	1	3,3	1,3	0,9	6,5
PNB	%	1	1,6	0	1,1	0,1	0	1
Mono	%	3,2	2,9	4	2,2	3,6	3	3,2
Gd Lympho	%	0,4	0,2	2	0,4	0,2	0,5	0,4
Pt Lympho	par mm ³	21,8	39,2	33	43,9	27,5	35,1	21,8
PNN	par mm ³	5 201	3 325	4008	5 013	4 772	3 981	5 201
PNE	par mm ³	503	188	67	336	92	59	503
PNB	par mm ³	77	100	0	112	7	0	77
Mono	par mm ³	248	181	267	224	255	197	248
Gd Lympho	par mm ³	31	13	134	41	14	33	31
Pt Lympho	par mm ³	1 687	2450	2 204	4 473	1 947	2 306	1 687
Plaquettes	par mm ³	198 000	162 000	661 000	149 000	101 000	148 000	198 000
Urée	g/l	0,34	0,32	0,37	0,39	0,38	0,42	0,34
Créat	mg/l	10,2	12,3	11,9	11,6	13,6	13,1	10,2
PT	g/l	68,3	68,6	67,2	65,9	65,1	71,8	68,3
Alb	g/l	32,6	32,3	34,7	32,1	37,2	36,1	32,6
Glob	g/l	35,7	36,3	32,5	33,8	27,9	35,7	35,7
Na	mmol/l	141	135	137	138	142	142	141
K	mmol/l	3,5	5,1	3,7	3,2	6,7	5	3,5
Cl	mmol/l	98	94	95	96	99	98	98
Ca	mg/l	119	122,2	118,8	119,3	123	119,2	119

Annexe 10 : Valeurs des paramètres urinaires mesurés au cours de l'entraînement sur la saison 2008.

				Kebar	Naid	Naya	Bibor	Halan	Nazia	Zaaf	Belik	Kebar	Naid	Naya	Bibor	Halan	Nazia	Zaaf	Belik
URINE				T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	T0	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1	L1
Créat	1 560-2 325	mg/l	LDFD	1 684	2 636	1 286	1 360	9 780	1 862	1 802	1 446	2 560	1 430	1 510	2 190	490	2 502	1 112	.
Na		mmol/l	LDFD	78	9	27	84	46	27	8	28	56	41	24	31	321	24	135	.
K		mmol/l	LDFD	233	169	200	218	208	184	241	177,3	312	277	306	239	63,5	177,6	186,3	.
Cl		mmol/l	LDFD	338	443	272	227	207	287	389	254	512	437	448	427	272	398	459	.
Clear Na	0,02-1,0	%	LDFD	0,34	0,03	0,18	0,56	0,04	0,14	0,04	0,18	0,17	0,27	0,15	0,15	6,13	0,10	1,21	.
Clear K	15-65	%	LDFD	28,0	21,5	27,5	41,3	6,5	23,6	41,1	61,8	38,7	67,3	48,0	40,3	38,6	24,7	53,0	.
Clear Cl	0,04-1,6	%	LDFD	1,99	2,22	2,48	2,06	0,27	1,99	2,78	2,30	2,25	4,20	3,96	3,02	7,42	2,42	5,97	.
pH labo	7,0-9,0	U	NVBC	7,5	7,2	7,2	7,6	7,6	7,4	7,6	6,9	7,2	7,3	7,3	7,1	7,8	7,1	7,1	.
Ca	1,5-5	mmol/l	NVBC	14,1	7	13,4	4,6	6,1	22,4	9,8	>25	>25	19,6	>25	>25	1,02	>25	>25	.
P	0,8	mmol/l	NVBC	1	1,06	0,95	0,63	0,53	1,17	0,92	0,64	1,03	0,71	0,62	1,33	0,14	1,14	0,67	.
Mg	8-30	mmol/l	NVBC	23,2	3,8	8,1	11	6,2	27,8	17,7	12,1	34	13,5	19,7	54	3,6	60	28,4	.
K	220	mmol/l	NVBC	280	223	253	247	229	213	297	204	283	287	>300	>300	<10	239	223	.
Na	12	mmol/l	NVBC	102	15	43	97	58	9	16	29	16	44	24	<10	287	<10	126	.
Cl	25	mmol/l	NVBC	370	5,84	130	220	170	210	290	260	360	380	370	370	310	280	380	.
Bicarbonates		mmol/l	NVBC	12	-346	166	124	117	12	23	-27	-61	-49	-46	-60	-13	-31	-31	.
TCO2			NVBC	104	84	59	157	90	78	114	26	51	58	52	57	83	52	51	.
pH	7,0-9,0	U	manuel	7,02	7,7	7,24	7,67	7,36	7,24	7,3	7,45	7,49	7,77	7,25	7,25	7,96	6,86	7,13	.
densité	1,020-1,050		manuel	1,046	> 1,050	1,046	1,038	1,03	1,044	1,044	.	> 1,050	1,038	1,04	>1,050	1,02	1,052	1,04	.

			Kebar	Naid	Naya	Halan	Nazia	Zaaf	Belik	Kebar	Naid	Naya	Bibor	Halan	Nazia	Zaaf
URINE			C1A	C1A	C1A	C1A	C1A	C1A	C1A	L2	L2	L2	L2	L2	L2	L2
Créat	1 560-2 325	mg/l	3 144	1 340	1 486	1 816	1 568	1 846	1 540	2 244	702	1 644	1 946	1 570	1 098	872
Na		mmol/l	80	88	59	30	44	33	47	28	68	39	26	24	45	39
K		mmol/l	256,4	241,5	257	294	250	256	418,8	221	195	248	292	246,2	231,6	208,5
Cl		mmol/l	374	312	278	326	312	348	346	446	223	138	233	371	307	326
Clear Na	0,02-1,0	%	0,24	0,77	0,46	0,22	0,41	0,24	0,28	0,10	0,86	0,22	0,13	0,16	0,46	0,44
Clear K	15-65	%	23,3	61,1	50,9	28,7	34,8	22,6	50,8	28,2	80,7	41,6	48,9	47,4	66,4	84,9
Clear Cl	0,04-1,6	%	1,64	4,20	3,21	3,42	4,25	3,59	2,93	2,23	3,88	1,09	1,75	3,32	4,35	5,15
pH labo	7,0-9,0	U	7,7	8,2	7,8	7,5	7,3	7,1	7,9	6,9	7,8	8,1	8,3	7,1	7,3	7,2
Ca	1,5-5	mmol/l	4,95	1,24	3,58	14	>25	>25	2,84	>25	3,06	1,32	1,41	>25	24,8	>25
P	0,8	mmol/l	1,27	0,85	0,73	0,84	0,53	0,9	0,57	1,14	0,23	0,63	0,55	0,95	0,79	0,67
Mg	8-30	mmol/l	16,9	14,5	13,9	9,4	10,2	14,5	18,3	59,2	16,6	6,3	14,2	26,6	36,2	31,4
K	220	mmol/l	>300	>300	>300	194	182	200	>300	>300	250	>300	>300	>300	>300	279
Na	12	mmol/l	72	49	73	24	15	<10	51	10	81	50	35	32	28	22
Cl	25	mmol/l	232	137	158	260	254	316	236	410	186	71	174	328	238	260
Bicarbonates		mmol/l	12	140	212	215	-42	-57	-106	115	-100	145	279	161	4	90
TCO2			128	181	143	86	64	54	190	36	143	305	272	57	84	57
pH	7,0-9,0	U	8,1	8,5	7,9	7,4	7,1	6,8	7,4	6,74	7,24	8,58	8,34	7,42	7,03	7,4
densité	1,020-1,050		1,05	1,038	1,038	1,036	1,033	1,038	1,036	>>1,050	1,025	1,036	1,045	1,043	1,038	1,04

			Kebar	Naid	Naya	Bibor	Nazia	Zaaf
URINE			C2A	C2A	C2A	C2A	C2A	C2A
Créat	1 560-2 325	mg/l	1 398	1 364	1 142	1 158	1 464	1 730
Na		mmol/l	66	89	105	70	43	42
K		mmol/l	278,8	242,5	258,9	289,2	351,3	358
Cl		mmol/l	289	253	303	261	289	329
Clear Na	0,02-1,0	%	0,34	0,59	0,80	0,51	0,28	0,22
Clear K	15-65	%	58,1	42,9	72,9	90,5	48,7	54,2
Clear Cl	0,04-1,6	%	2,15	2,43	3,32	2,72	2,71	2,54
pH labo	7,0-9,0	U	7,8	7,8	7,6	8	7,9	7,7
Ca	1,5-5	mmol/l	3,72	2,95	4,04	3,55	4,59	8,6
P	0,8	mmol/l	0,6	0,53	0,46	1,84	0,56	0,58
Mg	8-30	mmol/l	16,5	25	17,3	5,4	24,2	23,8
K	220	mmol/l	>300	>300	>300	>300	>300	>300
Na	12	mmol/l	71	98	113	20	40	22
Cl	25	mmol/l	234	194	234	27	228	272
Bicarbonates		mmol/l	12	137	204	179	293	112
TCO2			153	171	150	110	154	101
pH	7,0-9,0	U	7,4	7,4	7,4	8,1	7,2	7,2
densité	1,020-1,050		1,038	1,036	1,034	1,035	1,037	1,038

Annexe 11 : Résultats de la comparaison par un test T student pairé, bilatéral des valeurs obtenues pendant la saison avec T0.

	L1	BM1	C1A	L2	BM2	C2A
Ht	0,18671196	0,62927729	0,02588338	0,03431836	0,005054232	0,69298983
PT	0,77080581	0,28343145	0,083305637	0,09078753		0,05685978
Uree			0,021251903	0,04085629		0,00302097
Creat	0,10471707		0,005133678	0,02696894		0,70153509
Na	0,21751196		0,111215115	0,00457193		0,00301261
K	0,38036595		0,046689439	0,15718924		0,61226233
Cl	0,00013925		8,49675E-05	0,15631961		0,02742923
Ca	Pas de T0					
Clear Na	0,30553387		0,050802431	0,38926407		0,08912464
Clear K	0,03497106		0,30704061	0,01205366		0,00305856
Clear Cl	0,05080882		0,026556949	0,11679222		0,06802671
Creat ur	0,40556201		0,385118827	0,25616571		0,08081331
pH	0,86855409		0,262778218	0,49163865		0,48378188

 Résultat significatif (p< 0,05)

Annexe 12 : Résultats de la comparaison par un test T student pairé, bilatéral des valeurs obtenues pendant la saison avec L1 et L2.

	L1/BM1	L1/ C1A	L1/ L2	L1/ BM2	L2/C2
Ht	0,05417397	0,00176696	0,00309372	0,00158914	0,08634448
PT	0,03557441	0,00495711	0,00230674		0,03207578
Uree		0,03251669	0,12992845		0,46760475
Creat		0,00133571	0,95648157		0,90511714
Na		0,39474157	0,8181772		0,10193948
K		0,01817013	0,5936133		0,71599793
Cl		0,20171365	0,00174993		0,78265578
Ca		0,72219352	0,02417765		0,28437778
Clear Na		0,39302404	0,37708682		0,72258617
Clear K		0,21882333	0,13063988		0,17648295
Clear Cl		0,28352421	0,20092076		0,96746194
Creat ur		0,44773552	0,42664071		0,57510971
pH		0,36497218	0,64884237		0,81978736

 Résultat significatif (p< 0,05)

Annexe 13 : Résultats de la comparaison par un test T student apparié, bilatéral des valeurs
obtenues pendant la saison.

	C1A/C1P	C1A/C1D	C1D/C1P	C1A/Norme	C2A/C2P	C2A/C2D	C2D/C2P	C2A/Norme
Ht	0,0044272	0,38678745	0,88628164	0,09090285	0,008000908	—	—	0,00329262
PT	0,0011789	—	—	0,01995459	0,160575236	—	—	0,8573264
Uree	0,00645555	—	—	0,00211449	0,001186547	—	—	0,000298
Creat	0,2072692	0,38496648	0,247411427	—	0,022745868	0,00288472	0,59311454	—
Na	0,00984483	0,76039765	0,004455288	—	0,117217169	0,46979795	0,01105649	—
K	0,22279008	0,10904202	0,359538239	—	0,966589584	0,01741942	0,01909405	—
Cl	0,01517571	0,42089291	0,004928	—	0,013282299	0,06730421	0,05197969	—
Ca	0,00289655	0,09100621	0,190038903	—	0,892887966	0,82448982	0,8499942	—
Clear Na	0,07207184	0,18747979	0,124338939	—	0,017942165	0,00110276	0,5133489	—
Clear K	0,7917794	0,16719768	0,050988764	—	0,001362351	0,0004431	0,02743889	—
Clear Cl	0,00088568	0,019306	0,1015575	0,00213807	0,00226218	0,03337983	0,06925536	0,00126694
Creat ur	0,05885644	0,28465905	0,121221149	—	0,000272295	0,01595528	0,46255764	—
pH	0,15787922	0,36841415	0,054451456	—	0,841925995	0,03827627	0,11939447	—

 Résultat significatif ($p < 0,05$)

EVOLUTION DE L'EQUILIBRE HYDRO-ELECTROLYTIQUE DU CHEVAL D'ENDURANCE AU COURS DE L'EFFORT ET DE L'ENTRAÎNEMENT.

GREZY Laëtitia

Résumé

Le cheval d'endurance est un athlète qui doit faire face à des pertes hydro-électrolytiques importantes pendant l'effort. Dans une première partie, ce travail fait la synthèse des connaissances actuelles sur la régulation de l'équilibre hydro-électrolytique chez le cheval. Dans une seconde partie, il présente les modifications électrolytiques observées au niveau plasmatique et urinaire pendant des courses de 120 km et à l'entraînement.

Ainsi, les prélèvements réalisés sur huit chevaux d'endurance ont montré une augmentation de l'hématocrite, des protéines totales, de l'urémie, de la créatinine sanguine et urinaire et de la calcémie, ainsi qu'une diminution de la natrémie, de la chlorémie, de la clearance du sodium, du potassium et du chlore pendant les courses. Le suivi de ces mêmes sujets à l'entraînement a révélé une diminution de l'hématocrite et de la chlorémie ainsi qu'une augmentation significative de l'urémie, la créatinémie, la natrémie et la clearance du potassium. L'entraînement à l'endurance produit une augmentation de la volémie qui pourrait permettre au cheval de faire face, en plus des mécanismes rénaux, aux pertes hydro-électrolytiques qu'il subit pendant l'effort.

Mots clés : EFFORT / ENTRAÎNEMENT / ENDURANCE / EQUILIBRE HYDRO-ELECTRIQUE / EQUIDE / CHEVAL / CHEVAL DE SPORT.

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Dr. ROBERT Céline

Assesseur : Dr. GIRAUDET Aude

Mlle GREZY Laëtitia

Lieu dit « U Canale » Plaine de Cuttoli – 20167 Cuttoli Corticchiato – France

EVOLUTION OF FLUIDS AND ELECTROLYTES BALANCE OF THE ENDURANCE HORSE DURING EFFORT AND TRAINING.

GREZY Laëtitia

Summary

Endurance horses are athletes that have to deal with important losses of fluids and electrolytes during exercise. In a first part, this work reviews the actual knowledge on the regulation of fluids and electrolytes balance in the horse. In a second part, it describes the electrolytes changes in plasma and urine during 120 km endurance rides and at training.

Plasma and urine samples performed on eight endurance horses showed an increase of packed cell volume, total plasma protein, urea, plasma calcium concentration and plasma and urine creatinine, and a decrease of plasma concentration in sodium and chloride, and of the clearance in sodium, potassium and chloride during the ride. Observations of the same horses during training showed a decrease of the packed cell volume and the plasma concentration of chloride and a significant increase of the plasma urea, creatinine, sodium concentration and of the potassium clearance. Endurance training is responsible for an increase of plasma volume which could allow the horse to deal with the fluids and electrolytes loss in response to exercise in addition to renal adaptations.

**Keywords: EFFORT / TRAINING / ENDURANCE / FLUIDS AND ELECTROLYTES
BALANCE / EQUIDAE / SPORT HORSE.**

Jury :

President : Pr.

Director : Pr. ROBERT Céline

Assessor : Pr. GIRAUDET Aude

Miss GREZY Laëtitia

Lieu dit « U Canale »

Plaine de Cuttoli –

20167 Cuttoli Corticchiato - France