

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
PREMIERE PARTIE : LES ENJEUX DE LA REANIMATION LIQUIDIENNE PAR VOIE ORALE CHEZ LE CHEVAL DE SPORT	4
I. COMPENSATION DES PERTES HYDRIQUES ET ELECTROLYTIQUES INDUITES PAR L'EXERCICE	4
I.1. Origine des pertes hydro-électrolytiques chez le cheval à l'exercice	4
I.1.1. La sudation et les déficits hydriques et électrolytiques chez le cheval au cours de l'exercice	4
I.1.2. Nature et importance des pertes induites par la transpiration lors de l'exercice	6
I.2. Conséquences des pertes hydro-électrolytiques pour le cheval de sport	9
I.2.1. Défaillance du système thermorégulateur et hyperthermie	9
I.2.2. Déshydratation et diminution des volumes des secteurs liquidiens de l'organisme	10
I.2.3. déséquilibres électrolytiques et performances	13
II. PREVENTION DES PERTES HYDRIQUES ET ELECTROLYTIQUES INDUITES PAR L'EXERCICE	17
II.1. Anticipation des pertes en fonction des conditions d'exercice	17
II.1.1. Influence du type d'exercice sur l'importance des pertes	17
II.1.2. Influence des conditions environnementales	26
II.2. Adaptations physiologiques de l'organisme permettant une diminution des pertes	28
II.2.1. Importance de l'acclimatation	28
II.2.2. Rôle de l'entraînement	29
II.3. Le principe de surcharge en prévision des pertes	31
II.3.1. La supplémentation quotidienne	31
II.3.2. La " précharge " précédant l'exercice	34
DEUXIEME PARTIE : QUANTIFICATION DES PERTES EN VUE DE LA PREVENTION ET DU TRAITEMENT	36
I. ASPECT THEORIQUE ET SCIENTIFIQUE	36
I.1. Les différentes méthodes d'évaluation des pertes hydro-électrolytiques	36
I.1.1. Evaluation du poids corporel	36
I.1.2. Hématologie et biochimie sanguine	37
I.1.3. Analyse biochimique de la sueur	40
I.1.4. Calcul des fractions d'excrétion urinaire	41
I.2. Les difficultés de la quantification des pertes hydro-électrolytiques	43
I.2.1. Liées aux variables mesurées	43
I.2.2. Liées à la réalisation technique	44
I.2.3. Liées aux facteurs de variation environnementaux	45
II. ASPECT CLINIQUE ET DIAGNOSTIQUE	47
II.1. Evaluation clinique de l'état hydro-électrolytique du cheval	47

II.1.1.	Anamnèse- commémoratifs	47
II.1.2.	Examen clinique à distance	48
II.1.3.	Examen clinique rapproché	48
II.2.	Examens complémentaires	49
II.2.1.	L'hématocrite et les protéines totales plasmatiques	49
II.2.2.	La pression osmotique	50
II.2.3.	L'ionogramme	50
II.3.	Diagnostic du syndrome d'épuisement	53
II.3.1.	Diagnostic clinique	53
II.3.2.	Diagnostic hémato-biochimique	53

TROISIEME PARTIE : APPLICATION DE LA REANIMATION LIQUIDIENNE PAR VOIE ORALE AU CHEVAL DE SPORT 55

I. REALISATION PRATIQUE DE LA REANIMATION LIQUIDIENNE PAR VOIE ORALE 55

I.1.	Les différents moyens de réanimation par voie orale	55
I.1.1.	La prise volontaire de boisson	56
I.1.2.	L'abreuvement par intubation naso-gastrique	57
I.1.3.	L'administration d'électrolytes seuls	58
I.2.	Les facteurs influençant la prise volontaire de boisson	59
I.2.1.	Le contrôle de la soif	59
I.2.2.	La « déshydratation volontaire »	60
I.2.3.	Influence de la composition et appétence de la boisson.	61
I.3.	Composition de la solution	62
I.3.1.	Choix et réalisation de la solution à administrer	62
I.3.2.	L'utilisation du glucose ou de glycine dans les solutions de réanimation électrolytiques	66

II. ETABLISSEMENT D'UNE STRATEGIE DE REANIMATION PAR VOIE ORALE DU CHEVAL A L'EXERCICE 67

II.1.	Etude de l'efficacité des différentes méthodes de réanimation	67
II.1.1.	Influence de l'hyperhydratation sur la performance	67
II.1.2.	Effet de la prise de soluté pendant l'exercice	68
II.1.3.	Administration de fluides après l'exercice	69
II.2.	Choix d'une stratégie	70

CONCLUSION 71

BIBLIOGRAPHIE 73

LISTE DES FIGURES 82

INTRODUCTION

A l'heure actuelle, le cheval a pris une place toute particulière dans notre société, il n'est plus considéré comme un simple outil de travail, mais comme un animal de loisir, un partenaire sportif et même un véritable athlète . Les besoins et les affections du cheval de sport constituent un domaine à part entière et comme la médecine sportive humaine, la médecine sportive équine tend à se développer et se spécialiser de plus en plus.

Les problèmes de déshydratation chez l'athlète humain sont désormais bien connus et largement étudiés. Bien qu'il existe de nombreuses similitudes dans la physiologie de l'effort chez l'athlète humain et l'athlète équin, de nombreuses questions demeurent posées quant aux problèmes de déshydratation induite par l'effort chez le cheval.

Face aux problèmes de déshydratation, la médecine équine dispose actuellement de moyens performant et efficaces. Bien que la réanimation liquidienne par voie orale soit le moyen le plus naturel pour un cheval de se réhydrater, elle reste cependant une méthode peu envisagée et employée en médecine vétérinaire. Nous allons voir dans ce travail comment la réanimation liquidienne par voie orale trouve une place et un intérêt particulier dans la gestion de la déshydratation et des troubles électrolytiques chez l'athlète équin.

Pour étudier la réanimation liquidienne par voie orale chez le cheval de sport, nous allons dans un premier temps mettre en évidence les enjeux d'une telle réanimation dans le cadre de la compensation puis de la prévention des pertes subies par le cheval lors d'un exercice. Nous envisagerons dans un deuxième temps les possibilités d'adapter une réanimation à une situation particulière en étudiant la façon d'évaluer les pertes hydro-électrolytiques subies par le cheval. Enfin nous aborderons les aspects pratiques de la réanimation liquidienne par voie orale chez le cheval de sport et discuterons de son efficacité.

PREMIERE PARTIE : LES ENJEUX DE LA REANIMATION LIQUIDIENNE PAR VOIE ORALE CHEZ LE CHEVAL DE SPORT

La réanimation liquidienne par voie orale chez le cheval de sport peut être envisagée sous deux aspects : la compensation des pertes en eau et électrolytes induits par l'exercice et la prévention de troubles engendrés par ces pertes.

Après avoir défini les pertes en eau et électrolytes chez le cheval lors de l'exercice, et avoir établi la nécessité d'envisager leurs compensations systématiques, nous étudierons les possibilités de limiter ces pertes grâce à l'entraînement et à l'acclimatation. Cette approche permettra de définir la place de la réanimation liquidienne dans un programme d'entraînement.

I. COMPENSATION DES PERTES HYDRIQUES ET ELECTROLYTIQUES INDUITES PAR L'EXERCICE

I.1. Origine des pertes hydro-électrolytiques chez le cheval à l'exercice

I.1.1. La sudation et les déficits hydriques et électrolytiques chez le cheval au cours de l'exercice

Chez les animaux homéothermes la température corporelle doit être maintenue à l'intérieur de limites étroites : entre 37°C et 40°C. La balance calorifique est directement liée à la balance énergétique. L'énergie est produite par les réactions chimiques du catabolisme des molécules organiques et est utilisée par les cellules pour leur fonctionnement. Cependant la conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique est très inefficace. 80% de cette énergie est dissipée sous forme de chaleur et permet de maintenir la température corporelle.

Lors de l'exercice physique, la demande et la consommation énergétique augmentent considérablement. La chaleur produite augmente proportionnellement à l'intensité de l'exercice. La chaleur métabolique résultant du fonctionnement des muscles squelettiques est, sous un climat tempéré, en excès. Durant l'exercice, des mécanismes de thermorégulation sont activés afin d'éliminer cet excès calorifique et pour maintenir la température corporelle dans les limites physiologiques. Quatre mécanismes permettent les échanges de chaleur : radiation, convection, conduction et évaporation.

- Le transfert de chaleur par radiation se fait par émission d'ondes électromagnétiques entre la surface du corps et les surfaces environnantes. Ce processus est négligeable chez le cheval à l'exercice (Hodgson 94).
- La convection est un transfert de chaleur dû aux mouvements du milieu entourant le cheval. Efficace à faible température ambiante, la convection diminue lorsque la température ambiante se rapproche de celle du cheval. Au niveau respiratoire, ce mécanisme thermolytique dépend de la ventilation pulmonaire. Une convection forcée intervient lorsque le corps est exposé au vent ou lorsque le cheval est en mouvement.
- La conduction permet le transfert direct de chaleur entre deux surfaces en contact. La conductivité thermique de l'air étant faible, la conduction directe reste négligeable. Cependant, la conductivité indirecte entre les muscles et la peau par le système circulatoire est le mécanisme dominant pour le transfert de la chaleur du centre vers la périphérie. La conduction indirecte fournit la chaleur qui sera évacuée lors de l'évaporation.
- Au cours de l'exercice, ces trois mécanismes sont en général négligeables. L'évaporation apparaît le mécanisme principal permettant l'élimination de la chaleur corporelle en excès. L'évaporation d'1 litre d'eau permet la dissipation de 2425kJ de chaleur (Rowell 83). Ainsi, 1 litre d'eau permet d'évacuer la chaleur produite durant 6 minutes d'endurance ou 2 minutes d'effort de haute intensité (Guthrie 98). Bien que le potentiel calorifique de la sueur soit

sensiblement différent de celui de l'eau pure, on considère habituellement que la différence est négligeable.

Le taux d'évaporation dépend : du gradient de pression en vapeur d'eau entre la surface du corps et l'air environnant du taux de mouvement de l'air autour de la surface du corps. Bien que chez le cheval à l'exercice l'évaporation d'eau au niveau du tractus respiratoire permette d'éliminer jusqu'à 20% de la chaleur métabolique produite (Hodgson 94, Hodgson 93), l'évaporation de sueur au niveau de la peau constitue le processus thermolytique majeur.

La chaleur métabolique produite par les muscles squelettiques en activité est véhiculée par la circulation sanguine à travers l'organisme jusqu'au lit vasculaire cutané. L'augmentation de la température corporelle est détectée par des thermorécepteurs périphériques qui au dessus d'un certain seuil (Cuthrie 98) envoient un signal au système nerveux central (Bligh 66). Ce signal est intégré au niveau de l'hypothalamus et active les effecteurs de la thermorégulation qui chez le cheval à l'exercice sont majoritairement le système cardio-vasculaire et les glandes sudoripares.

Le rôle du système cardio-vasculaire dans la thermorégulation est de permettre l'acheminement de la chaleur des muscles à la peau où elle est dissipée par évaporation.

Le cheval a donc comme l'homme la particularité de réguler sa température corporelle par la sudation. Cependant ce phénomène qui permet au cheval de pratiquer des exercices intenses à des rendements métaboliques 2 fois supérieures à ceux de l'homme relativement à la masse (Hodgson 94), constitue par son efficacité un risque pour la santé du cheval. En effet, la dissipation d'une telle quantité de chaleur nécessite une production proportionnelle de sueur. La sueur représente pour le cheval une perte d'eau et d'électrolytes potentiellement importante.

I.1.2. Nature et importance des pertes induites par la transpiration lors de l'exercice

En comparaison avec l'homme, les chevaux ont une capacité métabolique relative à la masse 2 fois supérieure. Ainsi 2 fois plus de chaleur métabolique est produite pour une surface d'évaporation 2 fois moins importante par rapport à la masse (Hodgson 94, Jones 95). Ce déficit est partiellement compensé grâce des taux d'évaporation cutanée et respiratoire très supérieurs à ceux de l'homme.

En mesurant le poids corporel d'un cheval avant et après un exercice contraignant et prolongé, Carlson (Carlson 83) a estimé que la production maximale de sueur pouvait atteindre 10 à 15l/h, soit une production jusqu'à 5 fois supérieure à celle d'un athlète humain (Costill 77, Gisolfi 77). La quantité de sueur produite ainsi que sa composition dépendent directement du type d'exercice, de sa durée et des conditions atmosphériques (notion développées dans le 2èmeP.II.1.). Chez un cheval réalisant une épreuve d'endurance dans des conditions chaudes, la sueur est à l'origine d'une perte totale de plus de 40l de fluide (Carlson 83), soit 10 à 15 % de sa masse corporelle. Malgré l'apparente capacité du cheval à compenser la perte de grandes quantités de fluides en réponse à l'exercice, des effets délétères sur la fonction cardio-vasculaire, la capacité à l'effort et la thermorégulation peuvent apparaître lors de pertes trop importantes.

La sueur du cheval, contrairement à celle de l'homme est iso ou hypertonique par rapport au plasma (Smith 90, Carlson 79, Kerr 83). Elle contient une grande concentration de sodium, chlore et potassium (cf. tableau I) et selon certains auteurs une quantité mesurable mais moindre de calcium et de magnésium (respectivement de 3 et 2 mmol/l) (Carlson 79). La sueur contient également une concentration significative de protéine (0.75-1.24 g/l) (Mc Cutcheon 98). Parmi les protéines contenues dans la sueur, la latherine possède des propriétés de surfactant et permet une meilleure répartition de la sueur à la surface du corps, améliorant ainsi l'évaporation d'eau (Eckersall 82).

La concentration en ion de la sueur est largement le reflet du taux de transpiration et dépend notablement des conditions environnementales et du type de l'exercice (Geor 95, Geor 96, Hodgson 93).

Tableau I (Mc Cutcheon et Geor 98) : taux de transpiration, concentration ionique et osmolarité de la sueur à 2 intensités d'exercice et 3 conditions environnementales différentes, après 10 min. d'exercice

variables	TS	TS	CS	CH
	Haute intensité	Faible intensité	Faible intensité	Faible intensité
Sodium (mmol/l)	124,0 ± 6,7	116,7 ± 6,1	133,6 ± 2,3	130,6 ± 1,7
Potassium (mmol/l)	25,8 ± 2,1	32,6 ± 1,4	41,5 ± 1,1	28,1 ± 0,9
Chlore (mmol/l)	142,0 ± 5,6	144,3 ± 4,3	155,8 ± 3,2	149,5 ± 2,9
Osmolarité (mOsm/kg)	313 ± 18,0	303 ± 6,0	339 ± 6,0	327 ± 5,0
Taux de transpiration (mL/m²/min)	40,4 ± 3,7	21,1 ± 5,2	32,8 ± 5,1	27,0 ± 6,2

TS = conditions environnementales tempérées et sèches (T = 20°C, humidité relative = 45%-55%)

CS = conditions environnementales chaudes et sèches (T = 32°C-34°C, humidité relative = 45%-55%)

CH = conditions environnementales chaudes et humides (T = 32°C-34°C, humidité relative = 80%-85%)

Haute intensité = exercice à 90% de consommation maximale d'oxygène (Vo_{2max})

Faible intensité = exercice à 50% de Vo_{2max}

La thermorégulation du cheval durant l'exercice est majoritairement réalisée par la transpiration cutanée. La réhydratation liquidienne par voie orale a pour objectif de compenser les pertes en eau et électrolytes induites par la transpiration et ainsi de rétablir l'équilibre hydro-électrolytique général de l'organisme. Si au cours de l'exercice, le cheval développe des déficits importants en eau et électrolytes qui ne sont pas rapidement compensés, l'organisme est exposé à l'apparition de troubles morbides pouvant mettre en péril la vie de l'animal.

I.2. Conséquences des pertes hydro-électrolytiques pour le cheval de sport

La transpiration lors de l'exercice peut entraîner des pertes en eau et électrolytes pouvant être considérables. Pour comprendre la légitimité médicale d'une réhydratation par voie orale, il convient de bien cerner les conséquences de ces pertes sur l'organisme du cheval sportif.

I.2.1. Défaillance du système thermorégulateur et hyperthermie

Le système thermorégulateur est le principal facteur limitant l'exercice. Si ce système est dépassé ou déficient, le cheval s'expose au développement d'une hyperthermie. L'hyperthermie, si elle est importante et prolongée peut mettre en jeu le pronostic vital d'un homéotherme.

Le système cardio-vasculaire est un élément physiologique primordial dans la thermorégulation. Ses systèmes de régulation permettent d'adapter le débit cardiaque et la répartition du flux sanguin entre les différents organes. Un des facteurs physiologique déterminant pour la réalisation d'exercice prolongé, est le maintien d'un volume circulant suffisant pour maintenir une irrigation adéquate des muscles actifs et de la peau permettant une réponse thermorégulatrice adaptée.

Au cours d'un exercice prolongé dans un environnement chaud, la charge thermique à dissiper par l'organisme entraîne une transpiration intense. Si les pertes en fluides deviennent importantes (supérieures à 5% du poids corporel), le volume sanguin circulant diminue. Les adaptations cardio-vasculaires apparaissent insuffisantes pour maintenir un flux sanguin cutané adéquat (Rowell 86). Le maintien de ce flux sanguin cutané permet l'acheminement de la chaleur centrale au niveau de la peau et fournit les fluides nécessaires à la production de sueur. Une diminution du flux sanguin cutané entraîne une diminution du taux de transpiration et compromet ainsi la dissipation de la chaleur (Guthrie 98). Dans ces conditions les capacités de stockage de la chaleur par l'organisme peuvent être facilement excédées et une hyperthermie peut se développer.

Dans des conditions expérimentales et durant un exercice d'intensité modérée à forte, la fatigue survient chez le cheval pour une température du sang proche de 42.5°C (Hodgson 90, Hodgson 93) et une température hypothalamique d'environ 41.5°C (Mc Conaghy 95).

L'étude de Mc Conaghy montrait également que la température de l'hypothalamus était toujours inférieure de 1°C par rapport à la température centrale du sang, mettant ainsi en évidence l'existence d'un système de refroidissement spécifique du cerveau chez les chevaux. Durant des exercices à haute intensité, la température des muscles chez les chevaux augmente rapidement et peut atteindre 45°C (Jones 89). A cette température il a été démontré que certaines enzymes étaient dénaturées, altérant ainsi le métabolisme (Brinnel 87). Certains auteurs proposent que 45°C soit la température critique supérieure pour les muscles.

Les défaillances dans le système thermorégulateur chez le cheval ont été associés au «syndrome d'épuisement». Les chevaux atteints de ce syndrome présentent des signes de fatigue, d'hyperthermie et de profond déficit hydro-électrolytique. Cliniquement ce syndrome se caractérise par une dépression, une faiblesse généralisée, une diminution des capacités à l'effort, une augmentation des fréquences cardiaques et respiratoires et une température rectale élevée (souvent supérieure à 42°C) (Guthrie 98). La déshydratation induisant une diminution des capacités de transpiration, la peau apparaît alors chaudes et sèches.

Le traitement de l'hyperthermie est une urgence, il consiste à stopper l'exercice et à rafraîchir l'animal en le mettant à l'ombre et en le douchant à l'eau froide. La déshydratation accompagnant l'hyperthermie doit également être traitée par l'administration de fluides par voie intraveineuse, sondage naso-gastrique ou par ingestion simple.

La déshydratation induite par l'exercice devrait être prévenue avant que le cheval ne développe une hyperthermie. Pour cela il est nécessaire d'évaluer les conditions d'exercice et d'anticiper les pertes liées à la thermorégulation afin d'intervenir précocement en les compensant.

I.2.2. Déshydratation et diminution des volumes des secteurs liquidiens de l'organisme

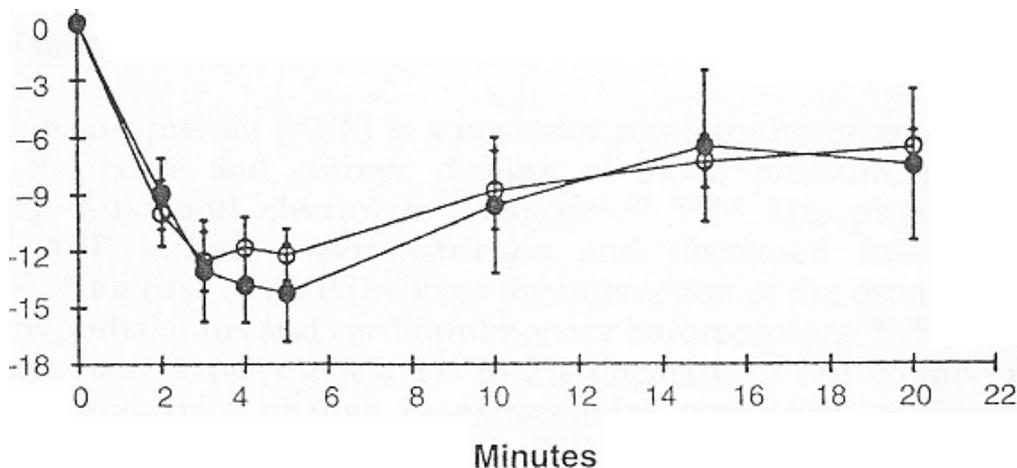
Dès le début d'un exercice intense, la demande énergétique et le métabolisme des muscles squelettiques augmentent considérablement. On observe alors une adaptation du système cardio-vasculaire et une redistribution des fluides et électrolytes entre les compartiments liquidiens.

L'afflux de métabolites énergétiques entraîne une augmentation de la pression osmotique intracellulaire et interstitielle au niveau des tissus musculaires actifs. Il en résulte

une mobilisation de l'eau hors du secteur vasculaire et une diminution du volume plasmatique (Carlson 87, Masri 90). Lorsque l'exercice se prolonge, la diminution du volume plasmatique est aggravée par les pertes en fluides dues à la transpiration (Carlson 83, Mc Keever 97) (cf. graphe II).

Graphique II (Mc Keever 98) : variations du volume plasmatique chez le cheval pendant l'exercice

Variation du volume plasmatique (pourcentage par rapport au volume au repos)



Le maintien du volume sanguin circulant pendant l'exercice (Rose 80) est un élément clef pour la persistance d'une perfusion adéquate des muscles et un flux sanguin suffisant à l'acheminement de la chaleur du centre du corps à la périphérie. Pour cela l'irrigation des organes " non-obligatoires " : les muscles inactifs et les organes splanchniques, est nettement diminuée au profit du flux sanguin musculaire et cutané (Rowell 83).

Lors d'un exercice contraignant entraînant des pertes importantes de sueur, la diminution du volume circulant entraîne une augmentation compensatoire de la fréquence cardiaque (Mc Keever 95, Mc Keever 97) et une diminution de l'irrigation cutanée (Rowell 86). Pour compenser la diminution des pertes de chaleur par la peau, les pertes caloriques par le tractus respiratoire augmentent avec majoration nette de la fréquence respiratoire.

Cette augmentation des fréquences cardiaques et respiratoires a été appelée chez les chevaux la " dérive cardio-respiratoire " (Thomas 90) et constitue un signe d'appel illustrant une déshydratation marquée.

La réduction de l'eau corporelle totale induite par la transpiration se manifeste d'abord par une diminution du volume plasmatique et de l'espace extracellulaire. Lorsque l'exercice se prolonge la perte de volume extracellulaire est progressivement compensée par une mobilisation de l'eau intracellulaire conduisant à l'installation d'une déshydratation cellulaire (Lindinger 95). Cette déshydratation cellulaire peut conduire à une diminution des fonctions cellulaires, de la fatigue et une diminution des capacités thermorégulatrices (Mc Keever 97, Schott 93).

Ces situations cliniques sont surtout rencontrées lors d'exercice prolongé dans des conditions environnementales chaudes, en l'absence de compensation des pertes ou lorsque l'exercice se prolonge malgré l'installation d'une déshydratation. De nombreux troubles liés à la diminution du volume hydrique et aux déséquilibres électrolytiques peuvent alors rapidement se développer. La déshydratation est un des facteurs déterminant du « syndrome d'épuisement ».

Selon les organes concernés par la diminution de perfusion, les signes cliniques d'épuisement peuvent varier. Des atteintes rénales peuvent résulter de la déshydratation et de l'exposition des reins à la myoglobine et aux pigments libérés par les muscles squelettiques endommagés. Au niveau digestif, des diarrhées ou impaction du colon peuvent survenir, notamment à la suite de la mobilisation de l'eau du colon pour maintenir le volume sanguin circulant.

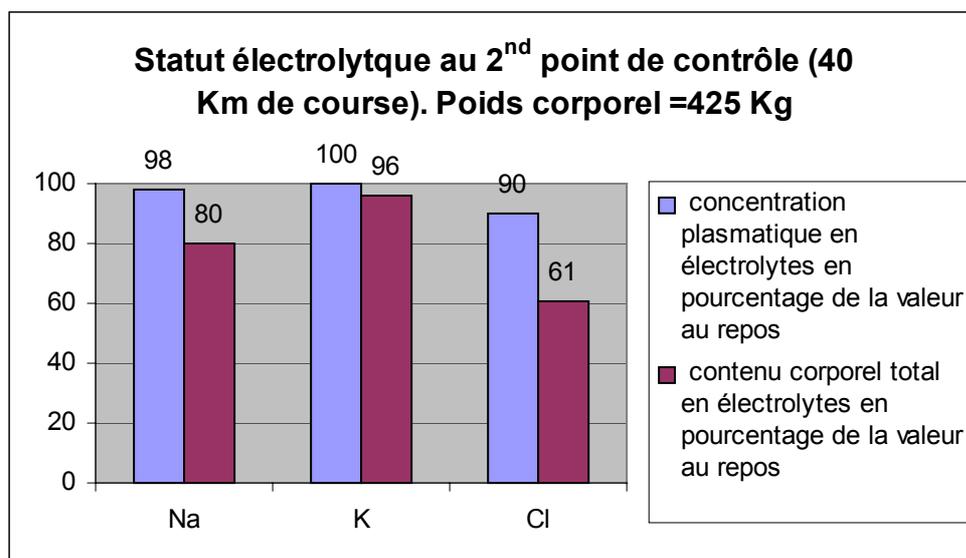
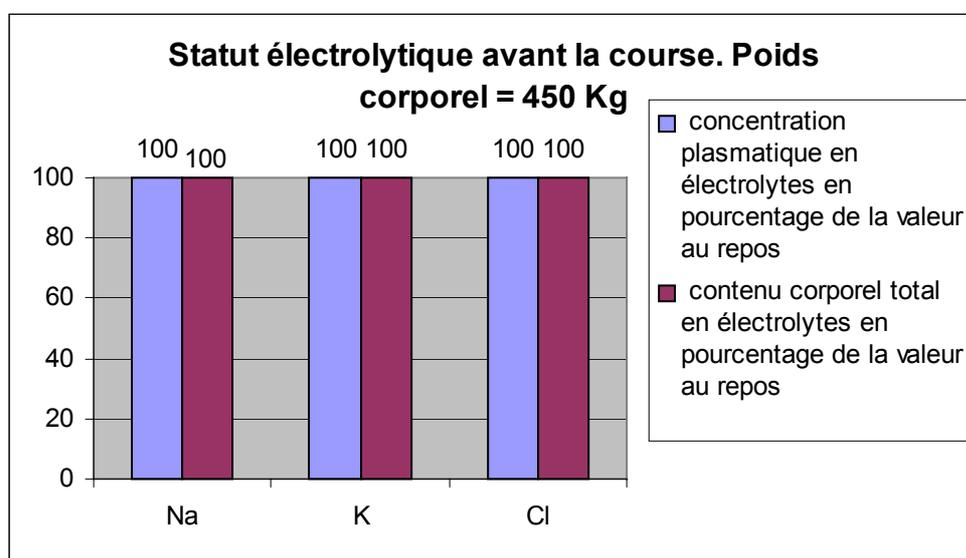
En cas de déshydratation sévère, un choc hypovolémique peut être associé à des œdèmes pulmonaires et périphériques et à l'initiation de la cascade de coagulation entraînant une coagulation intravasculaire disséminée (Foreman 98).

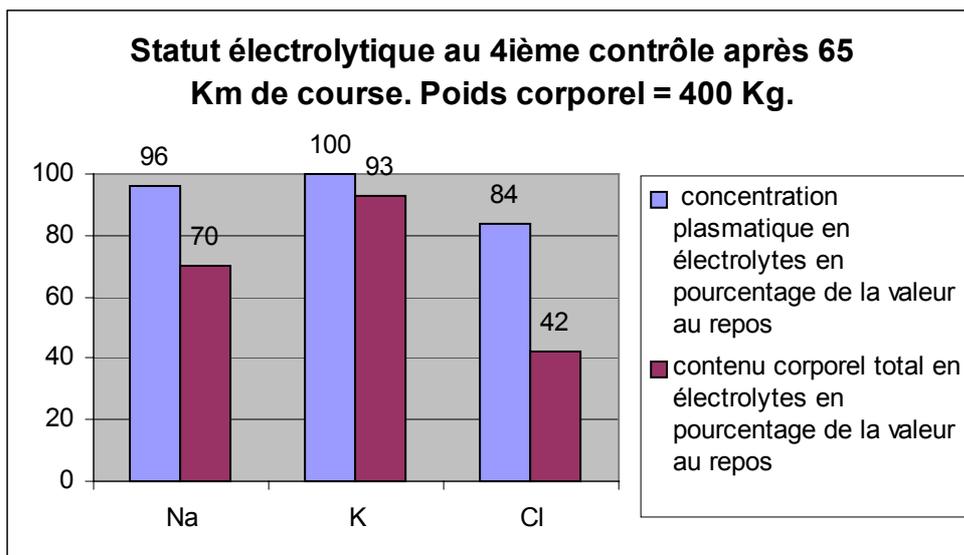
Il est cependant rare d'observer des cas extrêmes de syndrome d'épuisement allant jusqu'au coma et la mort de l'animal.

I.2.3. déséquilibres électrolytiques et performances

La particularité du cheval est de sécréter une sueur hypertonique par rapport au plasma. Selon les auteurs et les méthodes de récolte de la sueur (cf 2^{ème} partie I. 2.), la composition ionique de la sueur varie. Il demeure constant qu'une quantité importante de sodium, potassium et chlore accompagne les pertes en eau.

Graphique III (Schott 93) : estimation des pertes en eau et électrolytes durant une course d'endurance de 80 km.





Les résultats de cette étude illustrent les pertes en eau et électrolytes lors d'un exercice d'endurance typique, ainsi que les variations de concentrations plasmatiques en électrolytes. L'absence de corrélation entre les variations du contenu corporel total et les concentrations plasmatiques en électrolytes s'explique par les échanges permanents entre les compartiments liquidiens au cours de l'exercice.

Les altérations de la balance électrolytique ont été évoqués comme un facteur contribuant au développement de troubles métaboliques induits par l'exercice : rhabdomyolyse, fasciculation musculaire et syndrome de « contraction synchrone du diaphragme ».

Harris et Snow (Harris 91) ont étudié le rôle des déséquilibres électrolytiques dans le développement du syndrome de rhabdomyolyse en évaluant le statut électrolytique de chevaux connus pour souffrir de ce syndrome. Leurs résultats suggèrent que pour certains animaux une supplémentation adéquate en électrolyte dans l'alimentation serait bénéfique et préviendrait certaines crises de syndrome de rhabdomyolyse équin. Bien qu'ils n'aient pas prouvé que les déséquilibres électrolytiques soient déterminant dans l'apparition de ce syndrome, il apparaît que des déséquilibres marqués en électrolytes peuvent conduire à des problèmes musculaires expliqués par des altérations des échanges ioniques à travers les membranes cellulaires (Knochel 72).

La fatigue, la faiblesse et les crampes musculaires sont des signes courants d'un état de déficit en sodium. Leur amélioration clinique est spectaculaire lors d'administration de sodium (Vaamonde 82). Les déficits en potassium sont des causes connues de faiblesse musculaire et de rhabdomyolyse chez l'homme (Knochel et Schlein 72). De faible concentration erythrocytaire en potassium ont été associées à des problèmes de contre performance chez le cheval (Bain 90, Muylle 84).

Cependant bien que des déficits en sodium , en potassium ou en calcium puissent être associés de façon indépendante au développement de problèmes musculaires, il est reconnu aujourd'hui que ces problèmes sont habituellement le résultat d'altérations électrolytiques multiples induites par des exercices prolongés ou par des modifications iatrogènes de l'homéostasie hydro-électrolytique.

Pour illustrer la multiplicité de ces facteurs et leur importance relative, Coffman et al. (Coffman 78) ont proposé un indicateur de risque de développement de signes cliniques neuromusculaires qui prend en compte plusieurs électrolytes et le pH sanguin.

$$NI = \frac{Na^+ + K^{+[ECF]/[ICF]}}{Ca^{++} + Mg^{++} + H^+}$$

NI = indicateur

Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et H⁺ = concentrations plasmatiques en ions respectivement

K^{+[ECF]/[ICF]} = rapport de la concentration potassique du secteur extracellulaire sur la concentration potassique du secteur intracellulaire

Lors d'une course d'endurance, une augmentation de la concentration plasmatique en potassium, une diminution des concentrations plasmatiques en calcium et magnésium peuvent être combinées. Ces variations électrolytiques sont à l'origine d'une augmentation de NI la majoration du risque de voir se développer des signes cliniques.

Chez les chevaux ayant réalisé des exercices d'intensité maximale ou sub-maximale et prolongée un autre syndrome a été attribué en partie aux déséquilibres électrolytiques induits par l'exercice. Le SDF (Synchronous Diaphragmatic Flutter) ou syndrome de « contraction

synchrone du diaphragme» se traduit par une contraction du diaphragme de manière synchrone avec les battements cardiaques et non avec les mouvements respiratoires. Ce syndrome est détectable par l'apparition de spasmes au niveau des flancs. Certains auteurs estiment que des déséquilibres électrolytiques pourraient altérer le potentiel membranaire du nerf phrénique permettant une décharge en réponse à l'impulsion électrique générée pendant la dépolarisation atriale (Hinton 76, Mansmann 74) lorsque le nerf traverse le péricarde au dessus de l'atrium..

Les altérations électrolytiques souvent associées à ce syndrome sont une alcalose métabolique, une hypochlorémie avec hypocalcémie, hypokaliémie et hypomagnésémie (Carlson 85). Ce syndrome est généralement transitoire et une injection intraveineuse de Calcium entraîne souvent la cessation des signes cliniques. D'autre part, il a été observé qu'une supplémentation en électrolytes (chlore, potassium et sodium) pendant la course permettait de limiter les déséquilibres électrolytiques majeurs rencontrés dans ce syndrome (Carlson 85).

Les troubles décrits comme consécutifs à un exercice contraignant (l'hyperthermie, la déshydratation, les troubles splanchniques et neuromusculaires) sont généralement regroupés dans un même syndrome appelé " syndrome d'épuisement " induit par l'exercice. Ce syndrome multifactoriel résulte de déséquilibres hydro-électrolytiques, thermiques et métaboliques induits par l'exercice de façon interdépendante. Les signes cliniques ne sont pas pathognomoniques, mais fortement indicateurs lorsqu'ils sont considérés dans leur ensemble et dans le contexte d'un exercice contraignant.

II. PREVENTION DES PERTES HYDRIQUES ET ELECTROLYTIQUES INDUITES PAR L'EXERCICE

II.1. Anticipation des pertes en fonction des conditions d'exercice

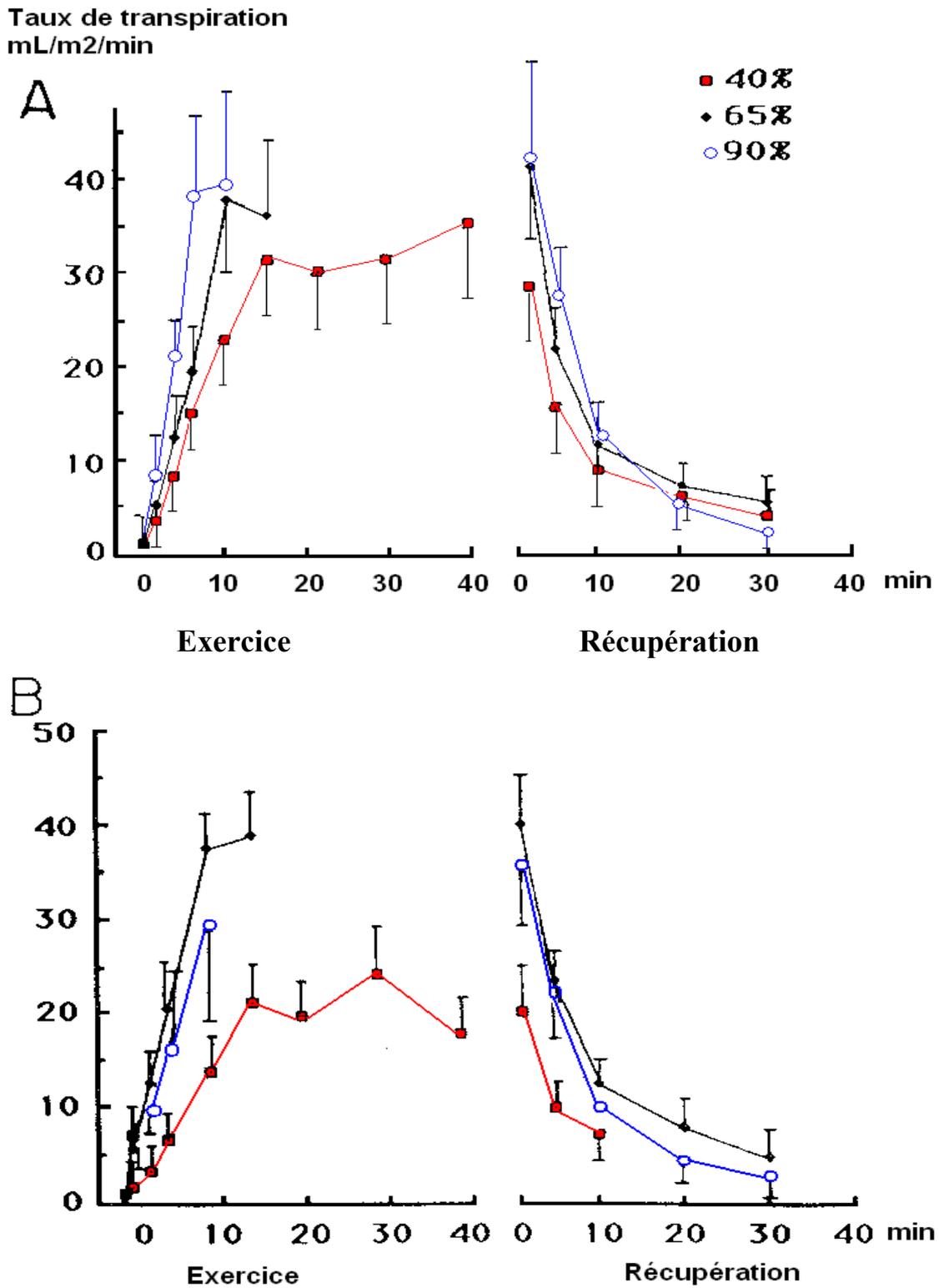
II.1.1. Influence du type d'exercice sur l'importance des pertes

Selon le type d'exercice, c'est à dire le type d'effort, son intensité et sa durée, les adaptations physiologiques de l'organisme diffèrent. Les risques pour l'organisme ne sont donc pas les mêmes et l'entraînement des athlètes doit en tenir compte.

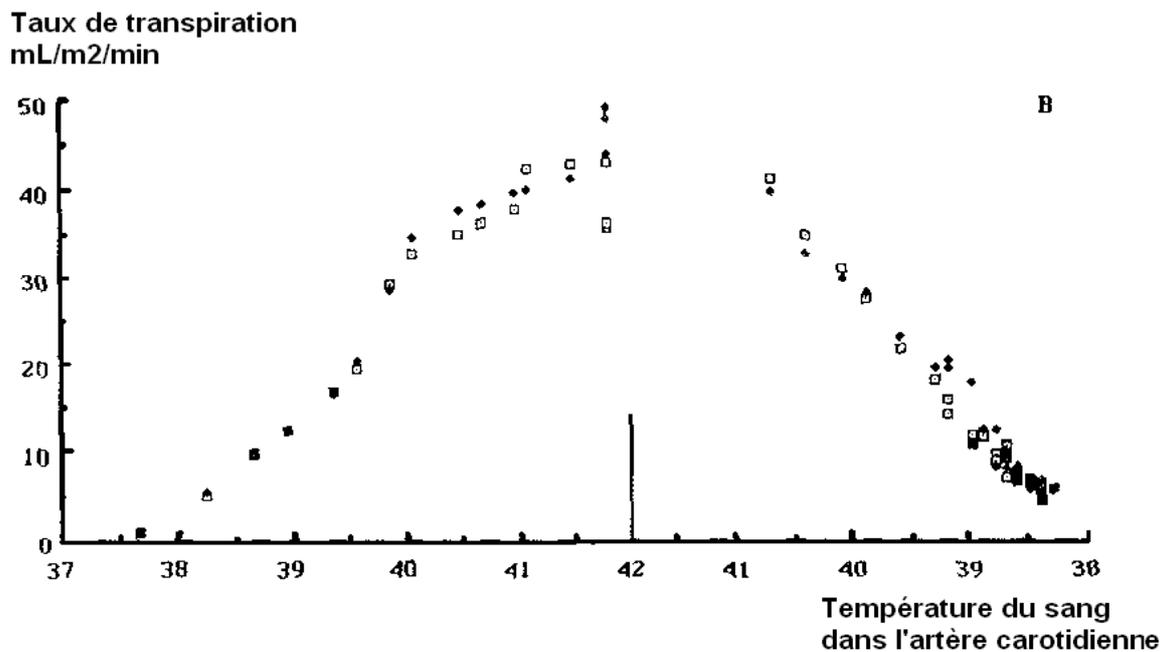
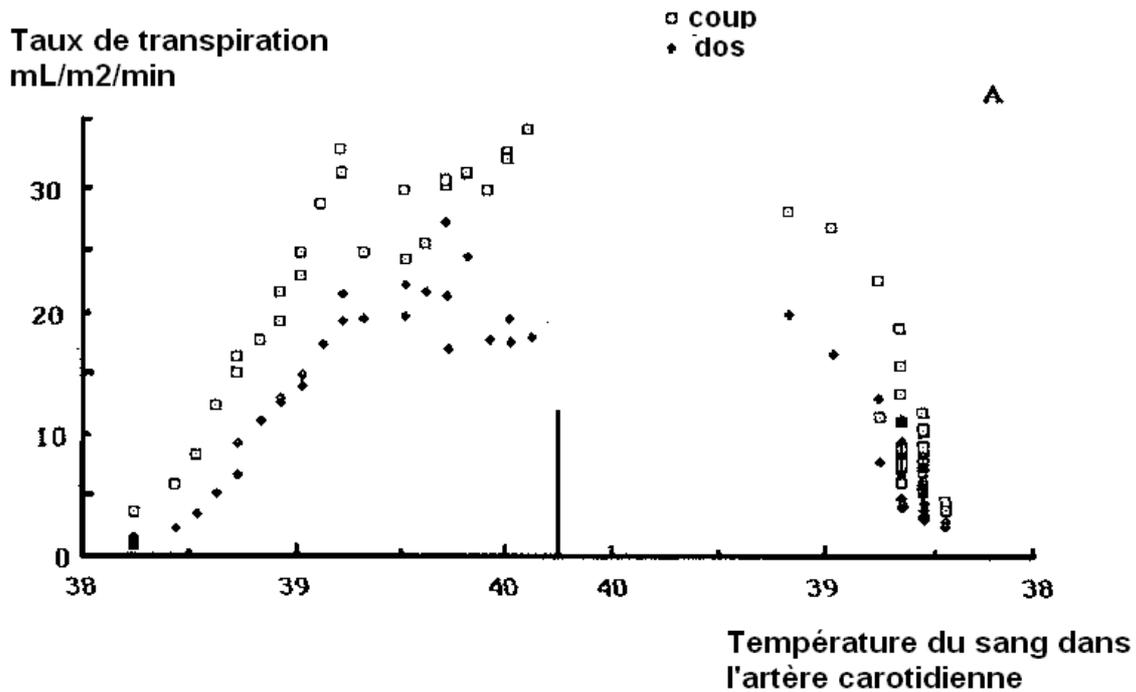
Hodgson et al. (Hodgson 93) ont réalisé une expérience sur 3 lots de chevaux pratiquant un exercice à 3 intensités différentes impliquant chacune une consommation en oxygène de 40, 65 et 90% de VO₂ max. (pendant 38, 15 et 9 min. respectivement). Au cours de cette expérience, ils ont mesurés la température du corps à différents endroits, le taux de transpiration grâce à des capsules disposées au niveau du cou et de la croupe, et ont évalués les pertes en fluides après l'exercice grâce à la différence de poids corporel.

Ils ont ainsi observé que le taux de transpiration au niveau du cou et de la croupe augmentait de façon linéaire durant les 5 premières minutes d'exercice quelque soit le type d'exercice (fig. IV) et que la température du sang au niveau de l'artère carotide pour laquelle la transpiration se déclenchait était la même pour les 3 types d'exercice (fig. V).

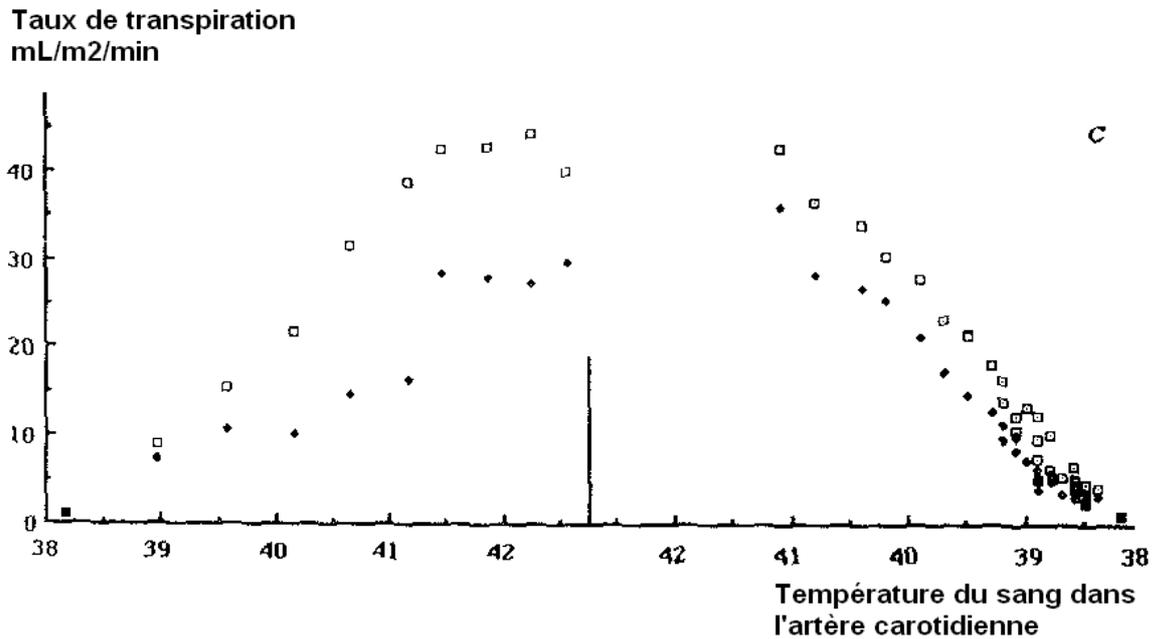
Graphique IV (Hodgson 93) : taux moyen de transpiration au niveau du coup (A) et du dos (B) des chevaux durant des exercices à 40, 65 et 90% de VO_{2max} respectivement, et durant les 30 premières minutes de récupération. Les valeurs sont des moyennes \pm l'écart-type.



Graphique V (Hodgson 93) : relation entre la température du sang dans l'artère carotidienne et le taux de transpiration au niveau du coup et du dos de 6 chevaux pendant des exercices à 40 (A), 65 (B), et 90 (C) de VO_{2max} et pendant les 30 minutes de récupération après l'exercice.



Graphique V.C

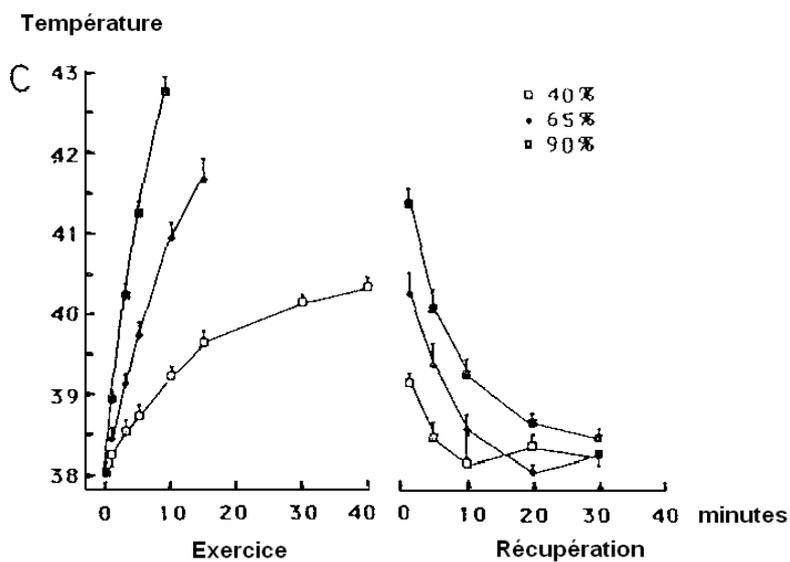
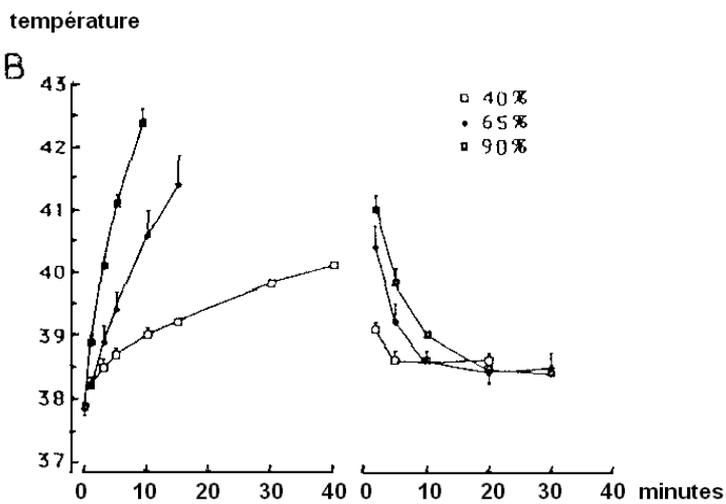
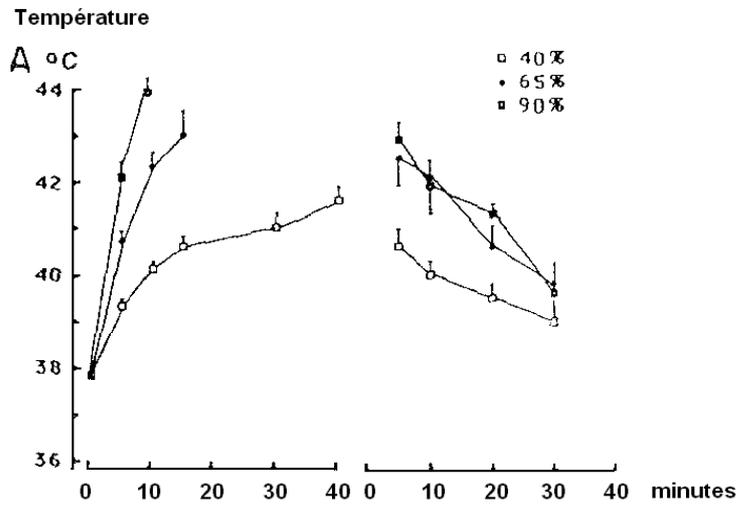


La figure IV illustre le fait que plus l'exercice est intense et plus le taux de transpiration augmente rapidement.

On constate sur la figure VI que la température corporelle augmente également plus rapidement lors d'exercice de plus haute intensité. Cette observation s'explique par un métabolisme musculaire plus intense lors d'exercice de haute intensité.

Sur la figure V on constate que le taux de transpiration augmente avec la température du sang, ce qui indique que l'augmentation de la température doit déclencher l'augmentation du taux de transpiration.

Graphique VI (Hodgson 93) : température au niveau des muscles glutéaux (A) et au niveau des artères carotidiennes (B) et pulmonaires (C) de 6 chevaux pendant des exercices à 40, 65 et 90 % de VO₂max, respectivement, et pendant les 30 minutes post-exercice. Les valeurs sont des moyennes ± écart-type.



Sur la figure VI, on observe une augmentation de chaleur au niveau des muscles, du sang et du centre de l'organisme. D'autre part sur la figure V on observe qu'au début de l'exercice, la production de chaleur excède largement sa dissipation. On peut déduire de ces deux observations qu'il existe un délai dans la mise en place des mécanismes de thermorégulation, durant lequel, la chaleur est accumulée au niveau des tissus. Dès que les mécanismes de thermorégulation sont activés, la chaleur accumulée décroît et la température du centre du corps atteint un plateau et reste relativement stable si la chaleur produite et la chaleur dissipée sont équilibrées.

Pour les deux exercices de forte intensité, le taux de transpiration continue d'augmenter pendant à peu près 2 minutes après la fin de l'exercice, ce qui signifie que les mécanismes de dissipation de la chaleur sont toujours actifs pendant la période de récupération.

Après avoir atteint un pic, le taux de transpiration pour les 3 types d'exercice, diminue rapidement pendant les 10 premières minutes de récupération puis plus lentement pendant les 20 min. suivantes pour atteindre un taux quasi nul au bout de 30 min. de récupération.

Il est particulièrement intéressant de noter que pour une même température sanguine donnée, le taux de transpiration est inférieur au cours d'un exercice de haute intensité (fig. V). Ceci est probablement dû au temps nécessaire pour atteindre cette température. Selon les différents rendements métaboliques, la rapide augmentation de température due aux rendements métaboliques les plus élevés ne fournit pas le temps nécessaire au développement d'une réponse appropriée par la sueur. Le volume de sueur évaporée à une température donnée est donc inférieur.

En mesurant la différence de poids corporel des chevaux avant et après l'exercice, Hodgson et al. ont estimé les pertes corporelles totales en eau à 12, 10 et 7.7 l. après respectivement les exercices à 40, 65 et 90% de VO₂ max..

Exercices de courte durée et de haute intensité

Au cours d'exercice de courte durée mais de forte intensité tel que les courses de galopeurs ou de trotteurs, le rendement métabolique est très élevé, mais la durée de sollicitation reste courte. Le cheval possède de bonnes capacités de stockage de la chaleur et une bonne partie de la dissipation de la chaleur est réalisée au cours de la période de récupération, durant laquelle la production de chaleur métabolique est nulle.

Les capacités de l'organisme du cheval à stocker la chaleur permettent aux athlètes équins d'être particulièrement performants lors d'exercice de haute intensité et de faible durée, éliminant la chaleur accumulée au cours de la période de récupération, sans risque de développer une hyperthermie. La chaleur accumulée permet également d'améliorer la performance musculaire, de faciliter la libération de l'oxygène par les globules rouges et d'augmenter les capacités cardiaques (Guthrie 98).

Les pertes de fluides et électrolytes liées à la thermorégulation sont dans ce type d'effort négligeables et les variations plasmatiques de concentrations en électrolytes et protéines observés, sont le résultat des redistributions entre les compartiments liquidiens (Sejersted 92).

Le principal danger lié aux exercices de haute intensité provient peu d'éventuels déséquilibres de la balance hydroélectriques, mais surtout de la forte acidose métabolique induite par la libération massive d'acide lactique dans le secteur extracellulaire.

Lors d'exercice de ce type, les risques de déshydratation, d'hyperthermie et déséquilibres électrolytiques sont réduits, l'intérêt d'une réanimation de nature hydrique et électrolytique après l'exercice est donc réduit. Cependant il convient toujours pour n'importe quel type d'exercice d'évaluer le statut d'hydratation avant le début de l'exercice et de réanimer le cheval afin qu'il puisse lutter correctement contre le stress induit par l'effort.

Exercices prolongés d'intensité faible à modérée

Ce type d'exercice dit « d'endurance », est essentiellement rencontré lors des compétitions de concours complet se réalisant sur 3 jours et notamment lors de la phase d'endurance (cross, routier et steeple) et dans les courses d'endurance proprement dites. La difficulté de l'exercice réside dans la durée de l'effort.

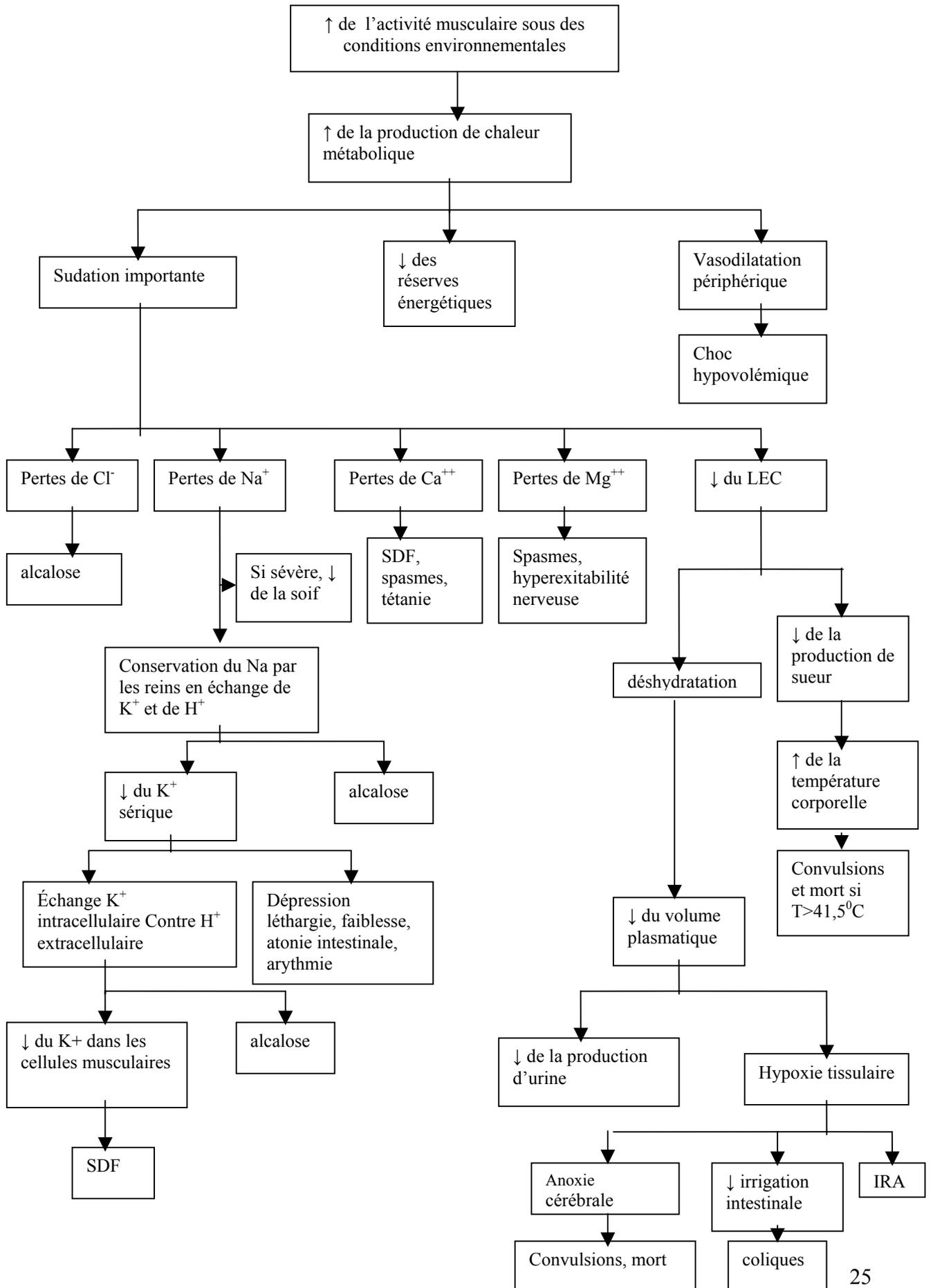
Les différentes études réalisées pour évaluer les pertes en eau et électrolytes durant des exercices d'endurance sont difficilement comparables et interprétables. En effet les conditions d'exercice varient beaucoup (distance, vitesse, conditions climatiques) et les méthodes d'étude diffèrent également (méthodes d'échantillonnage et valeurs mesurées). Dans la plupart des publications l'eau corporelle totale perdue est estimée par la différence de poids avant et après la course. Ces valeurs varient de 5 à 15 % de l'eau corporelle totale

Les pertes en électrolytes sont en grande majorité évaluées par les variations de concentrations plasmatiques, or les concentrations plasmatiques ne sont pas représentatives des pertes totales en électrolytes du fait des nombreux échanges entre compartiments liquidiens (Carlson 83, Carlson 87).

Les pertes totales en électrolytes ne sont pas directement mesurables et sont estimées à partir de la concentration de la sueur en électrolytes et de la quantité de sueur perdue. Schott et Hinchliff (Scott 93) ont estimé les pertes en électrolytes pour une course d'endurance typique à 5, 2 et 6 Equivalents de respectivement sodium, potassium et chlore.

Lors d'un exercice d'endurance la transpiration induit des pertes importantes en fluide et électrolytes qu'il est indispensable de restaurer le plus tôt possible pour éviter le développement des troubles évoqués précédemment et résumés dans le schéma VII.

Schéma VII (Dwyer 86) : résumés des troubles pouvant survenir à la suite d'un effort entraînant d'importantes pertes hydro-électriques



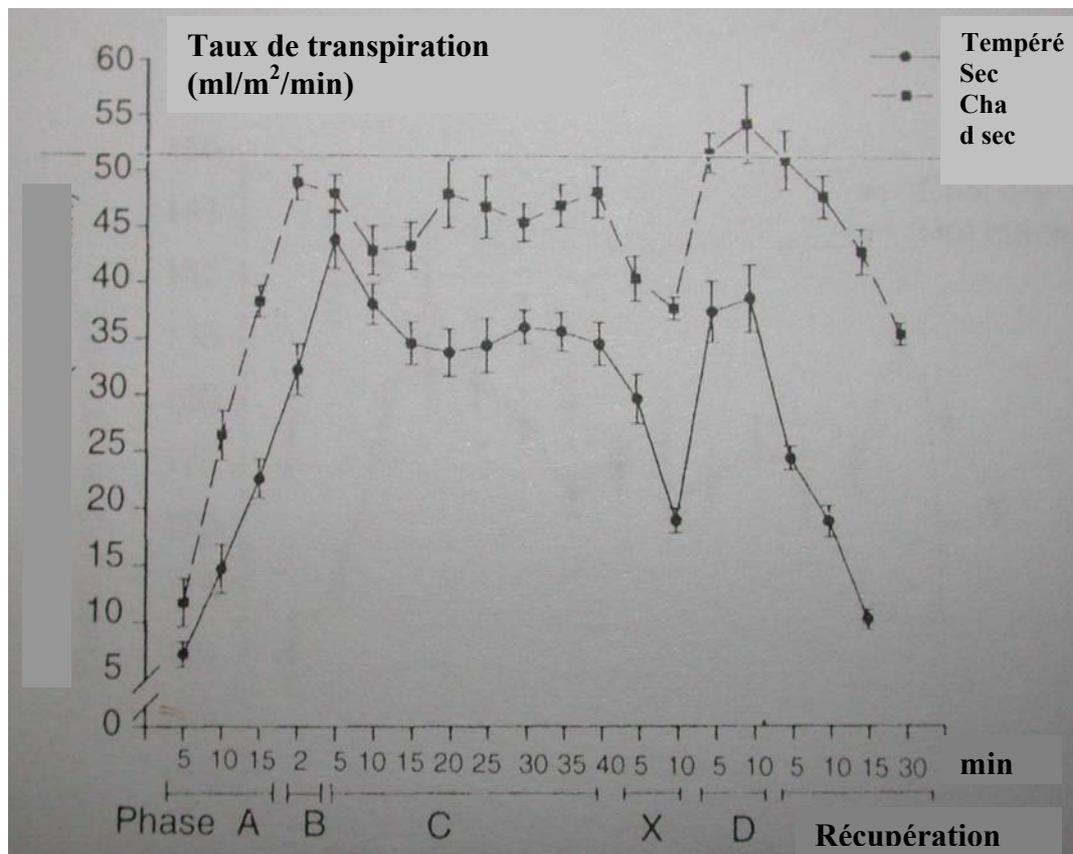
II.1.2. Influence des conditions environnementales

Les conditions environnementales jouent un rôle très important sur les performances de l'organisme et ses possibilités d'adaptations au stress de l'exercice.

Dans des conditions de température extérieure élevée, le gradient de température entre la surface de la peau et l'environnement est réduit et les pertes de chaleur par radiation sont minimales. De plus la charge thermique imposée à l'organisme augmente. En effet, à la chaleur métabolique induite par l'effort, s'ajoute la charge thermique due à la température de l'environnement (Mc Cutcheon 98).

Mc Cutcheon et Geor (Mc Cutcheon 96) ont mis en évidence que dans des conditions de température élevée, le taux et la durée de transpiration augmentaient (cf.fig.VIII).

Graphique VIII (Mc Cutcheon 96) : taux de transpiration pendant et après un test d'exercice d'endurance et de vitesse simulée sous des conditions climatiques tempérées et chaudes



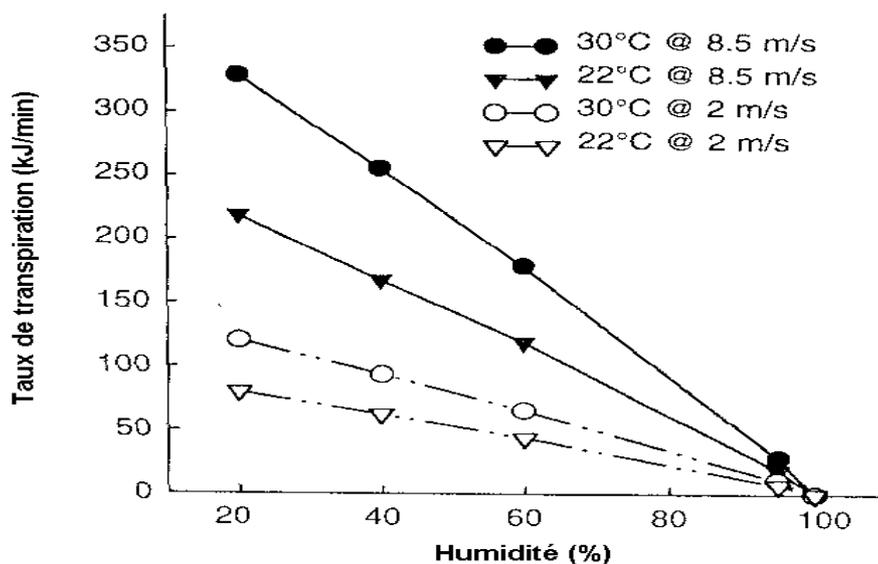
Tempéré : Température = 20°C sec : humidité = 45-55%
Chaud : Température = 33-35°C

Dans des conditions de chaleur chaude, l'augmentation de la transpiration peut compenser la diminution des autres mécanismes de thermorégulation et l'augmentation de la charge thermique. Mais l'augmentation de cette transpiration entraîne inévitablement une augmentation des pertes en fluides et électrolytes (Mc Cutcheon 96) diminuant ainsi les capacités thermorégulatrices.

De ce fait, il apparaît donc évident que les chevaux pratiquant un effort par temps chaud sont d'autant plus exposés aux problèmes de déshydratation et d'hyperthermie et que la durée de l'effort dans ces conditions doit être réduite.

Dans des conditions chaudes et humides s'ajoutent les problèmes dus à l'humidité. En effet même si l'intensité de la transpiration en conditions chaudes/sèches et chaudes/humides n'est pas sensiblement différente, l'efficacité de la dissipation de la chaleur par la transpiration est considérablement réduite lors d'hygrométrie élevée (cf. fig.IX).

Graphique IX (Mostert 96): prévision des effets des variations d'humidité à 2 températures et 2 vitesses du vent sur les pertes de chaleur par évaporation de la sueur pour un cheval Thoroughbred standard faisant un effort à 90% de VO_{2max} .



En effet plus l'humidité ambiante augmente, plus le gradient de pression en vapeur d'eau entre la surface du corps et l'air diminue, donc plus le taux d'évaporation diminue. La quantité de sueur produite restant la même, mais l'évaporation étant largement diminuée, la sueur est produite inutilement en excès. Bien que la sueur coulant le long du corps rafraîchisse le cheval, la dissipation de la chaleur en résultant demeure largement insuffisante pour compenser la diminution d'évaporation. Dans ces conditions la chaleur corporelle augmente plus rapidement (Kohn 95) et réduit la durée d'apparition d'une température corporelle critique au delà de laquelle la poursuite de l'exercice n'est plus envisageable.

L'exercice pratiqué dans des conditions chaudes et humides représente un danger considérable pour le cheval en l'exposant à des risques majeurs de déshydratation, d'hyperthermie et de tous les troubles physiologiques en résultant. Mc Cutcheon et Geor (Mc Cutcheon 96) ont montré dans une étude que les pertes en fluides et électrolytes durant un exercice d'intensité modérée dans un environnement chaud et humide étaient 2 fois supérieures à celles induites par un exercice similaire dans des conditions plus tempérées.

Si le cheval est amené à concourir dans de telles conditions, un entraînement rigoureux accompagné d'une acclimatation peuvent améliorer la réponse de l'organisme aux conditions imposées.

II.2. Adaptations physiologiques de l'organisme permettant une diminution des pertes

II.2.1. Importance de l'acclimatation

Comme nous venons de l'évoquer, dans des conditions chaudes, la capacité à l'effort est réduite et les pertes par transpiration sont augmentées. Cependant, il a été démontré chez l'homme (Armstrong 91) que les effets négatifs d'une température ambiante élevée pouvait être substantiellement améliorés par une période d'acclimatation. Une exposition régulière à des conditions chaudes entraîne de nombreuses adaptations physiologiques et biochimiques améliorant les capacités de l'individu à réguler sa température et effectuer des performances dans ces conditions (Armstrong 91, Gisolfi 87).

L'acclimatation peut se faire de différentes manières. Une acclimatation passive, c'est à dire l'exposition à la chaleur sans exercice peut entraîner des adaptations physiologiques

améliorant la capacité à dissiper la chaleur. De la même manière un entraînement réalisé dans des conditions tempérées et sèches peut améliorer les réponses physiologiques à un exercice réalisé dans des conditions chaudes. Cependant, un exercice régulier dans la chaleur (acclimatation active) est nécessaire pour obtenir les effets maximaux de l'acclimatation à la chaleur (Geor 96 n^o24, Gisolfi 87).

Les adaptations physiologiques les plus importantes lors d'acclimatation à la chaleur sont une augmentation du volume plasmatique au repos pouvant atteindre 25%, accompagnée d'une diminution de la fréquence cardiaque induite par l'exercice (Geor 98 n^o25) ; une redistribution du débit cardiaque augmentant le flux sanguin cutané ; une augmentation du taux de transpiration et une diminution du seuil de température corporelle initiant la transpiration. L'adaptation de ces facteurs améliorant la thermorégulation additionnée à une amélioration des transformations biochimiques réduit la quantité de chaleur produite et s'accompagne d'une diminution de la température corporelle centrale.

L'amélioration globale des réponses physiologiques de l'organisme au stress thermique et notamment la plus grande efficacité des mécanismes de thermorégulation limitent considérablement les risques d'hyperthermie et de déshydratation et améliorent les performances de l'organisme dans ce type de conditions.

Cependant dans des conditions chaudes et humides où le facteur limitant est le taux d'évaporation, les bénéfices de l'acclimatation sur les capacités thermorégulatrices et sur la performance sont négligeables, même si une diminution des pertes en fluides et électrolytes a été observée (Mc Cutcheon et Lindinger 96).

II.2.2. Rôle de l'entraînement

L'entraînement a pour conséquences des changements rapides dans l'homéostasie des fluides et électrolytes corporels permettant à l'athlète d'obtenir de meilleures performances lors d'exercices contraignants. Les adaptations liées à l'entraînement sont assez similaires à celles liées à l'acclimatation. Dans les deux cas, elles concourent à une amélioration des mécanismes de thermorégulation.

On observe assez rapidement une augmentation du volume plasmatique au repos liée à une augmentation de la rétention du sodium et de l'eau par les reins et une augmentation du contenu protéique plasmatique par augmentation de la synthèse d'albumine.

L'entraînement induit également des modifications au niveau de la transpiration. Mc Cutcheon et Geor (Mc Cutcheon et Geor 96 n°60) ont mis en évidence une augmentation de la sensibilité de la transpiration, c'est à dire une baisse du seuil de température corporelle déclenchant la transpiration, mais surtout une baisse des pertes totales en fluides et électrolytes induites par la sueur (particulièrement du sodium).

La diminution des pertes en fluides et électrolytes constitue un avantage physiologique considérable pour la thermorégulation, la fonction cardio-vasculaire et le maintien des volumes liquidiens corporels.

Une autre influence majeure de l'entraînement est de préparer le cheval à s'adapter aux conditions qu'il va rencontrer lors de la course. En effet de nombreux chevaux développent un comportement de stress lorsqu'ils sont changés d'environnement. Les compétitions peuvent alors être un facteur de stress. Dans ces conditions certains chevaux refusent de s'alimenter, de s'abreuver ou d'uriner, il est donc important d'habituer les chevaux à changer d'environnement pour pratiquer des exercices afin de diminuer au maximum le stress le jour de la compétition.

Dans les exercices d'endurance, il est primordial que le cheval s'alimente et s'abreuve correctement pendant la durée de la compétition (3 jours pour les compétitions de concours complet) et même durant la course lors des courses d'endurance. En effet le tractus intestinal constitue un réservoir d'eau et d'électrolytes important pendant les courses de longue distance (Flaminio 98). Si le cavalier veut le jour de la compétition administrer des solutions électrolytiques, il doit durant l'entraînement habituer son cheval à en consommer car elles sont en général peu appétentes. Kleps et al. (Kleps 92) ont suggéré qu'on pouvait entraîner un cheval à boire des solutions salines, si elles lui étaient offertes comme unique source de fluide pendant une période d'exercice.

Il est également important de bien adapter la nutrition aux adaptations et aux demandes liées à l'entraînement.

II.3. Le principe de surcharge en prévision des pertes

II.3.1. La supplémentation quotidienne

Etant donné le rôle prépondérant de la balance hydro-électrolytique dans les mécanismes de thermorégulation chez le cheval et dans le développement de troubles organiques induits par l'exercice, il est essentiel de s'assurer que les chevaux à l'entraînement et/ou en compétition possèdent une alimentation adaptée notamment en ions pour pouvoir fournir correctement la sueur nécessaire sans créer de déficits majeurs.

Pour déterminer les besoins ioniques précis, il est nécessaire de connaître l'apport alimentaire en ions et les pertes par l'urine, les fèces et la sueur. Comme ces mesures ne sont généralement pas réalisées en routine, il n'est pas rare de découvrir que l'alimentation d'un cheval n'est pas bien équilibrée en ions.

Mc Cutcheon et Geor ont évalué les pertes de fluides et électrolytes par la sueur pendant l'entraînement dans différentes conditions environnementales et ont ainsi tenté d'établir une alimentation équilibrée adaptée à l'entraînement et à la compétition. (Mc Cutcheon et Geor 96 n°59).

Le tableau X représente la composition de la ration quotidienne des chevaux participant à l'étude et le tableau XI les pertes totales en fluides et électrolytes.

Tableau X (Mc Cutcheon et Geor 96) : apport alimentaire quotidien et suppléments minéraux avant et pendant un entraînement de 2 semaines suivi d'un test simulé de vitesse et d'endurance dans des conditions tempérées/sèches (T=20⁰C/H=45-55%) et chaudes/humides (T=33-35⁰C/H=80-85%). Poids corporel moyen des chevaux : 455 kg ± 12

minéraux	Quantité (g)	Quantité (mmol)
calcium	135 ± 24	3368
phosphore	79 ± 15	2550
potassium	65 ± 11	1833
chlore	85 ± 16	2397
sodium	14,4 ± 2	626
supplément		
sodium	39,7	1727
potassium	26,2	670
chlore	84,1	2371

Tableau XIa (Mc Cutcheon et Geor 96) : pertes totales calculées en fluides et électrolytes par la sueur durant 2 semaines d'entraînement dans des conditions tempérées/sèches et chaudes/humides.

Pertes quotidiennes	TS		CH	
	(g)	(mmol)	(g)	(mmol)
Fluides (L)	4,6		11,3	
minéraux	(g)	(mmol)	(g)	(mmol)
sodium	13,4	582,6	33,7	1465,3
potassium	5,8	149,5	13,9	356,9
chlore	23,6	664,1	66,4	1871,6
calcium	0,69	17,2	1,23	30,7

Tableau XIb (Mc Cutcheon et Geor 96) : pertes totales calculées en fluides et électrolytes par la sueur pendant et après un exercice simulé de vitesse et d'endurance dans des conditions tempérées/sèches et chaudes/sèches

	TS		CS	
Fluides (L)	11,7		19,2	
minéraux	(g)	(mmol)	(g)	(mmol)
sodium	34,2	1481,8	61,5	2673,5
potassium	15,7	400,4	26,9	689,8
chlore	60,8	1714,6	110,4	3110,2
calcium	1,61	40,1	1,83	45,7

Ils ont conclu, sur la base des pertes d'ions par la sueur, que l'apport total quotidien en sodium, potassium et chlore incluant le supplément de sel était apparemment suffisant pour compenser les pertes quotidiennes. Cependant l'apport de sodium apparaît encore insuffisant pour compenser les pertes survenant lors d'un exercice simulé dans des conditions chaudes et humides.

En considérant que le cheval est maintenu à ce régime durant toute la durée de l'entraînement et de la compétition, le supplément de sodium à disposition et l'adaptation des mécanismes de rétention d'eau et sodium au cours de l'entraînement suffiraient à compenser les pertes induites durant une journée d'exercice contraignant.

Jansson et al. (Jansson et Lindholm 99) ont étudié l'effet d'une supplémentation en potassium sur la balance en potassium, sodium et eau chez le cheval à l'exercice. Ils n'ont observé aucun changement dans la réponse à l'exercice excepté une augmentation de l'excrétion de sodium dans la sueur ce qui constituerait un effet plutôt néfaste pour les performances du cheval.

La supplémentation quotidienne peut-être réalisée par l'ajout d'électrolytes mélangés ou saupoudrés dans la ration ou par mise à disposition de bloc de sels. Il semblerait que les suppléments mélangés à la ration soient préférables car il a été récemment montré que les

chevaux ne consommeraient pas volontairement suffisamment de sels pour fournir les besoins quotidiens avec les blocs (Jansson 96).

Jansson et Dahlborn (Jansson et Dahlborn 99) ont mené une étude sur l'influence de la fréquence de l'alimentation et de la consommation volontaire de sels sur la régulation des fluides et électrolytes chez le cheval de sport. Elles ont conclu que la fréquence de l'alimentation n'avait aucune influence sur la régulation des fluides et électrolytes et aucune influence non plus sur la consommation volontaire de sels, mais elles ont observés qu'il existait beaucoup de variations individuelles dans la consommation de blocks de sels et que globalement les chevaux ne compensaient pas leur déficits sodiques par une augmentation de l'ingestion de sels. Cependant, l'augmentation de la prise de sels semble être proportionnellement corrélée à une augmentation de la prise d'eau.

La supplémentation quotidienne en électrolytes ne fait pas partie de la réanimation liquidienne par voie orale à proprement dite, mais elle est prérequis et complémentaire.

En effet dans la mesure où on envisage la réanimation liquidienne par voie orale pour compenser ou prévenir les déficits induits par les pertes de sueur, il convient auparavant d'envisager de fournir au cheval athlète des apports quotidiens lui permettant de réguler correctement sa balance hydro-électrolytique pendant l'exercice.

II.3.2. La " précharge " précédant l'exercice

Le but d'administrer des fluides (eau et électrolytes) avant le début de l'exercice (hyperhydratation) est de diminuer, retarder ou éliminer les effets délétères de la déshydratation. Ce principe a été étudié chez l'homme et a montré des effets bénéfiques chez les athlètes pratiquant des exercices pendant de longues périodes (Greenleaf 71, Moroff 65). En comparaison avec les athlètes hypo ou euhydratés, les athlètes hyperhydratés maintiennent un volume plasmatique plus élevé, une fréquence cardiaque plus basse et une température centrale plus basse accompagnée d'une augmentation du taux de transpiration (Greenleaf 71, Moroff 65).

Ces effets bénéfiques seraient également désirables chez le cheval de sport pratiquant des exercices prolongés, cependant peu de données sont disponibles pour mettre en évidence l'efficacité de cette pratique.

Bien que l'hyperhydratation puisse potentiellement améliorer les performances des chevaux d'endurance, elle n'est encore que très peu acceptée et pratiquée (Sosa Leon 98). Une

des raisons pourrait être le fait que contrairement aux humains, les chevaux correctement hydratés boivent difficilement de grandes quantités de fluides, surtout si ils contiennent des électrolytes. La solution pourrait être l'administration par intubation naso-gastrique, mais se posent alors des problèmes pratiques et éthiques.

Conclusion :

Dans cette première partie, on a mis en évidence les difficultés rencontrées par le cheval de sport lors de la pratique d'un exercice contraignant et l'importance de son état d'hydratation. La réanimation trouve une place importante dans le management du cheval de sport aussi bien dans la préparation, pendant l'exercice et lors de la récupération.

DEUXIEME PARTIE :QUANTIFICATION DES PERTES EN VUE DE LA PREVENTION ET DU TRAITEMENT

I. ASPECT THEORIQUE ET SCIENTIFIQUE

I.1. Les différentes méthodes d'évaluation des pertes hydro-électrolytiques

Pour pouvoir anticiper, prévenir et préparer un traitement des déséquilibres hydro-électrolytiques induits par l'exercice, il faut avoir une idée des pertes survenant pendant l'exercice. De nombreux auteurs ont réalisés des expériences visant à évaluer la nature et la quantité des pertes hydro-électrolytiques survenant lors de l'exercice et ont employés ou mis au point différentes techniques.

I.1.1. Evaluation du poids corporel

Cette technique très simple consiste à peser le cheval avant et après l'exercice, elle permet d'évaluer la quantité de fluides éliminées par le cheval au cours de l'exercice.

En considérant que l'eau corporelle totale (ECT) représente 66% du poids corporel (PC) (Julian 56 ;Judson 83), il est possible d'estimer les pertes en eau au cours de l'exercice grâce à des formules très simples.

Andrews et al. (Andrews 95) ont ainsi estimé les pertes en eau de chevaux participant à un concours complet.

Dans cette étude les auteurs ont pesé les chevaux la veille de la compétition, 30 minutes après le cross-country et 18-24h après. L'eau corporelle totale a été estimée grâce à la formule :

$$\text{ECT} = \text{PC} \times 0,66$$

Les pertes en eau (PE) durant la compétition ont ainsi été estimées en considérant que 90% des pertes en poids corporel survenant lors de l'exercice étaient dues aux pertes en eau (Carlson 92). La formule proposée est :

$$PE = (PC_0 - PC_x) \times 0,9$$

PC₀ est le poids corporel avant la compétition

PC_x est le poids corporel le x^{ième} jour

L'eau corporelle totale après la compétition a été estimée en utilisant la formule :

$$ECT_x = ECT_0 - PE_x$$

Ils ont ainsi constaté que les chevaux perdaient en moyenne 4% de leur poids corporel durant le test d'endurance avec un maximum de 6% et qu'un déficit en eau moyen de 8,3L ou 2,5% du poids corporel persistait 18 à 24h après la fin de la compétition.

L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne permet d'évaluer que les seules pertes en eau. Cependant elle peut être associée à d'autres méthodes simples d'évaluations des pertes en électrolytes.

Cette méthode simple et facile à utiliser sur le terrain et permet d'évaluer l'ampleur des pertes survenues lors de l'exercice et l'état d'hydratation de l'animal. Un autre avantage est qu'elle prend en compte toutes les pertes en eau et pas seulement les seules pertes induites par la sueur.

Cette méthode est donc plus intéressante en pratique que d'un point de vue scientifique.

I.1.2. Hématologie et biochimie sanguine

L'analyse sanguine est un moyen très utilisé pour évaluer les pertes en eau et électrolytes survenant lors de l'exercice. Beaucoup d'auteurs se servent des analyses sanguines pour suivre les modifications du statut hydrique et électrolytique de l'animal au cours de l'exercice.

La mesure de l'hématocrite et de la concentration plasmatique en protéines totales permet d'évaluer l'état d'hydratation de l'animal et les concentrations plasmatiques en ions mettent en évidence des modifications du statut électrolytique.

Snow et Kerr (Snow 82) ont réalisé des échantillonnages sanguins sur des chevaux participant à une course d'endurance de 80 km à une vitesse moyenne de 16-18 km/h. Ils ont obtenus les résultats suivants :

Tableau XII (Snow 82) : paramètres hématologiques et biochimiques avant, pendant et après une course d'endurance de 80 km

	départ	arrivée	18 h après
hématocrite	0,44	0,62	0,40
Protéines totales (g/l)	68	86	70
Na⁺ (mmol/l)	139	148	138
K⁺ (mmol/l)	4,6	4,4	3,4
Ca⁺⁺ (mmol/l)	3	3,2	2,72
Mg⁺⁺ (mmol/l)	0,73	0,85	0,66
Cl⁻ (mmol/l)	99	96	96

On peut noter une augmentation significative de l'hématocrite et des protéines totales après l'exercice suggérant une déshydratation substantielle. On note également une augmentation du sodium et du magnésium pendant la course ainsi qu'une diminution du chlore.

Dans cette étude les auteurs ont également mesuré les pertes hydro-électrolytiques induites par la sueur et l'urine (tableau XIII).

Tableau XIII (Snow 82) : pertes par la sueur et l'urine au cours d'une course d'endurance de 80 km

	Eau (l)	Na⁺ (mol)	K⁺ (mol)	Cl⁻ (mol)
Pertes par la sueur	37	5,9	1,18	6,11
Pertes par l'urine	2,8	0,13	0,72	0,21
Pertes totales	39,8	6,03	1,9	6,32
Pertes plasmatiques	6	0,67	0,03	0,65
Pertes non-plasmatiques	34	5,36	1,87	5,67

Les pertes plasmatiques sont les pertes directement mesurées au niveau plasmatique et les pertes non-plasmatiques sont la différence entre les pertes totales et les pertes plasmatiques.

Cette étude montre que les variations de concentration plasmatique des électrolytes ne semblent pas un indicateur pertinent pour caractériser les pertes totales en ions.

Cette observation peut s'expliquer par le fait que les pertes en eau et électrolytes concernent non seulement le secteur vasculaire et extracellulaire mais aussi le secteur intracellulaire et qu'il existe des mécanismes homéostatiques et d'échanges entre les compartiments liquidiens visant à compenser les pertes et maintenir les concentrations plasmatiques.

Il apparaît donc que la mesure des concentrations plasmatiques ne permet en aucun cas de quantifier les pertes totales en eau et électrolytes mais uniquement de visualiser des modifications de la balance hydro-électrolytique.

La mesure de l'hématocrite seule reste difficile à interpréter car chez le cheval durant un effort intense, une splénocontraction intervient faisant augmenter l'hématocrite de 45% à 65% en l'absence de déshydratation extracellulaire. La mesure de la concentration plasmatique en protéines totales demeure un bon indicateur de l'état d'hydratation.

I.1.3. Analyse biochimique de la sueur

L'analyse biochimique de la sueur semble être le moyen le plus direct et efficace de quantifier les pertes en eau et électrolytes induits par la transpiration lors de l'exercice.

Pour calculer la quantité de sueur produite et analyser sa composition plusieurs méthodes ont été employées.

La première, employée par Mc Conaghy et al. (Mc Conaghy et Hodgson 95) consiste à fixer une serviette absorbante, de dimension définie, grâce à de l'adhésif sur une surface préalablement rasée, lavée et rincées. A la fin de la récolte de sueur, la serviette est compressée pour en extraire la sueur à l'intérieur d'un récipient étanche, puis conservée à 4°C et analysée dans les 24h.

La seconde, employée par Mc Cutcheon et Geor (Mc Cutcheon 95) consiste à fixer une poche étanche en polyéthylène grâce à de l'adhésif sur une portion de peau préalablement préparée de la même manière et reliée à une poche de collecte fixée sous le ventre.

Les sites choisis pour les différentes méthodes semblent être toujours les mêmes, c'est à dire le tiers postérieur de l'encolure et sur le thorax au niveau du tapis de selle, de façon bilatéral. Ce choix semble correspondre à des zones de taux de transpiration plus élevée (Mc Cutcheon 98), afin d'obtenir une quantité suffisante pour l'analyse de la composition de la sueur.

Dans ces 2 méthodes des aliquots de sueur permettent de mesurer les concentrations des différents constituants grâce à des appareils d'analyse conventionnels. Pour évaluer la quantité totale de sueur produite, les auteurs utilisent le volume collecté rapporté à la surface et au temps de collecte, que l'on multiplie par la surface du corps (SC).

$$SC = 1.09 + 0,08 \times \text{poids corporel (kg)} \text{ (Hodgson 93)}$$

Mc Cutcheon et Geor (Mc Cutcheon et Geor 96 n°59) semblent poser l'hypothèse pour le calcul que le taux de transpiration à l'endroit mesuré est représentatif de toute la surface du corps.

Une troisième méthode proposée par Scott et al. (Scott 96) consiste à fixer des capsules ventilées qui mesurent le taux de transpiration directement sur le cheval.

Le manque de publications sur ce sujet ne permet pas de déterminer la méthode la plus précise et juste. Il résulte du manque de précision des différentes méthodes des différences notables dans les résultats (Mc cutcheon 95).

L'analyse biochimique de la sueur est la méthode en théorie la plus adaptée à l'analyse de la quantité et de la composition de la sueur. Elle est cependant soumise à des problèmes techniques non négligeables pouvant engendrer des difficultés dans l'interprétation des résultats.

I.1.4. Calcul des fractions d'excrétion urinaire

Le calcul des fractions d'excrétion urinaire (FE) en électrolytes est une méthode qui a été recommandée par certains auteurs (Brobst 87, Harris 91, Harris 90) pour évaluer le statut électrolytique du cheval.

La fraction d'excrétion électrolytique est une mesure de la conservation rénale des électrolytes, elle se calcule grâce à l'analyse simultanée des concentrations en électrolytes et créatinine dans les échantillons plasmatiques et urinaires.

$$FE = \frac{(\text{elec})_{\text{urine}}}{(\text{elec})_{\text{plasma}}} \times \frac{(\text{Cr})_{\text{plasma}}}{(\text{Cr})_{\text{urine}}} \times 100$$

Les valeurs normales selon Harris et Snow (Harris 91) sont :

FE_{Na} (%) : 0,04-0,52

FE_k (%) : 35,0-80,0

FE_{Cl} (%) : 0,70-2,10

Harris et Snow (Harris 91) ont observé qu'un certain nombre de chevaux atteints du syndrome de rhabdomyolise présentait des fractions d'excrétions urinaires anormales et qu'une supplémentation électrolytique adaptée permettait de rétablir les fractions d'excrétion dans les limites de référence.

Même si l'on ne peut établir de rapport direct et quantitatif entre les fractions d'excrétion en électrolytes et le statut électrolytique de l'animal, cette méthode a été utilisée dans l'évaluation de déséquilibres hydro-électrolytiques liés à l'exercice.

Jousset (Jousset 2001) a proposé un tableau d'interprétation des modifications des fractions d'excrétion :

Tableau XIV (Jousset 2001) : Etiologie des variations des fractions d'excrétion urinaire des ions Na⁺ et K⁺

FE_{Na}	FE_K	Interprétation des variations de FE_{Na} et FE_K
diminuée	normale	Hyponatrémie pertes induites par l'exercice défaut d'apport en sodium
augmentée	normale	Hypernatrémie déshydratation excès d'apport en sodium
normale	diminuée	Apport en potassium insuffisant myopathie d'effort récidivante fourbure chronique
normale	augmentée	Non significatif étiologiquement

Cette méthode ne permet pas d'analyser la nature et la quantité des pertes induites par l'exercice, mais permet d'évaluer le statut hydro-électrolytique de l'animal et de diagnostiquer un éventuel déséquilibre. Cette méthode peut donc être employée comme méthode diagnostique complémentaire pour objectiver un déséquilibre électrolytique.

A la vue des différentes méthodes proposées pour évaluer les pertes hydro-électrolytiques il apparaît qu'aucune de ces méthodes ne permettent d'obtenir des résultats précis et fiables. En effet la quantification des pertes induites par l'exercice est un problème qui jusqu'alors n'a pas encore trouvé de solution pratique en raison des nombreuses difficultés scientifiques et techniques.

I.2. Les difficultés de la quantification des pertes hydro-électrolytiques

L'intérêt de se pencher sur les difficultés de la détermination des pertes hydro-électrolytiques au cours de l'exercice est de comprendre pourquoi à l'heure actuelle très peu de publications décrivent des protocoles de réanimation établis et adaptés aux problèmes rencontrés par les chevaux pratiquant des efforts intenses ou prolongés.

Les difficultés rencontrées peuvent se classer de manière générale en trois catégories : des difficultés liées aux variables étudiées, à la réalisation technique des protocoles d'évaluation et aux nombreux facteurs de variation entrant en jeu.

I.2.1. Liées aux variables mesurées

Le problème peut être posé sous deux angles cliniques distincts :

- L'évaluation de l'état hydro-électrolytique de l'animal pour établir un protocole de réanimation.
- L'évaluation des pertes survenant lors de l'exercice pour mettre en place un protocole de compensation ou d'anticipation.

L'évaluation de l'état d'hydratation dispose de nombreux moyens diagnostiques cliniques et analytiques simples et fiables.

L'évaluation du statut électrolytique est plus difficile et subjective. En effet une interprétation juste nécessite la confrontation de plusieurs variables, telles que les concentrations ioniques plasmatiques, l'état d'hydratation, les fractions d'excrétion urinaire. Dans les deux cas, quelque soit les techniques employées, il ne s'agit pas de la mesure directe d'une variable mais de l'évaluation subjective d'un statut grâce à l'interprétation de la mesure de plusieurs variables.

L'évaluation des pertes est soumise quant à elle à la mesure de variables quantifiables : eau et électrolytes éliminés par la transpiration, dont la quantification impose de résoudre des problèmes d'ordre technique.

I.2.2. Liées à la réalisation technique

La difficulté majeure réside dans la façon d'évaluer les conséquences de l'exercice sur l'organisme du cheval. Cette évaluation suppose de disposer d'infrastructure et de matériel adaptés aux mesures sur un cheval en action, ou de disposer d'un tapis roulant qui ne permet pas toujours de reproduire les conditions réelles.

D'autre part l'analyse de la sueur repose sur la mise en œuvre de conditions et moyens expérimentaux à l'origine d'un défaut de répétabilité, reproductibilité, abérant l'interprétation des résultats.

Mc Cutcheon et al. (Mc Cutcheon 95) qui sont à l'origine de la méthode du sac étanche fixé directement à la peau ont publié une étude comparant plusieurs méthodes de récolte et ont constaté des différences significatives entre les résultats obtenus.

Tableau XV (Mc Cutcheon 95) : Comparaison de la concentration ionique de la sueur induite par l'exercice collectée par différentes techniques après un exercice de faible intensité (50% VO_{2max})

	ABV	GBV	GN	FC
Sodium (mmol/l)	113±1,4	166±1,4	207±7,5	292±23
Potassium (mmol/l)	33±2,9	34,2±1,4	28,3±3,5	83,4±7,5
Chlore (mmol/l)	145±2,0	200±11,0	248±15	332±36

ABV = poche scellée sur le flanc sans application de vaseline

GBV = gaze dans une poche fixée sur le flanc, non scellée et sans application de vaseline

GN = gaze de coton exposée à l'air libre

FC = récoltée directement derrière la sangle

Selon ces auteurs, les différences entre les résultats publiés résident notamment dans l'existence de problèmes techniques. Les résultats obtenus par les différents auteurs ne sont donc pas comparables.

A l'heure actuelle, le clinicien ne dispose donc pas de valeurs moyennes ou normales concernant la composition de la sueur.

I.2.3. Liées aux facteurs de variation environnementaux

Le dernier problème expérimental est le fait que les pertes subies par le cheval à l'exercice sont soumises à de nombreux facteurs de variation (Mc Cutheon 98) :

- l'intensité et la durée de l'exercice
- les conditions environnementales
- le statut d'entraînement et d'hydratation du cheval.

Ainsi, chaque auteur réalise son étude en prenant en compte certains facteurs (tableau XVI). L'absence de standardisation rend l'interprétation et la comparaison des résultats difficile voire impossible.

Tableau XVI : Composition ionique de la sueur selon différentes publications

Référence	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	Ca ⁺⁺ (meq/l)	Mg ⁺⁺ (meq/L)	Conditions expérimentales
Snow et al.(82)	159	32	165	/	/	80 km à 16-18 km/h T°C :ND Hum :ND Entraînement progressif pendant 2 mois
Rose et al.(80)	249	78	301	/	/	100km vitesse :ND T°C :30 Hum :ND Entraînement :ND
Mc Conaghy et al.(95bis)	159,4	39,6	194,9	9,6	6,6	30 min à 50% vo2max T°C :10-24 Hum :ND Entraînement progressif de 10 sem.
Mc Cutcheon et Geor (96prem)	126,6	34,2	146,5	6,8	/	Simulation de CCI olympique T°C : 20-22 Hum : 45- 55% Entraînement progressif pendant 10 sem.

ND = non défini

En pratique, ces différentes difficultés expérimentales sont à l'origine d'un défaut de valeur usuelle concernant les pertes induites par l'exercice pour le cheval.

Cependant certains auteurs ont établi à partir des valeurs publiées des tableaux d'approximations constituant une base sur laquelle adapter des protocoles.

Les expériences scientifiques permettant d'évaluer les pertes hydro-électrolytiques nous donnent des valeurs utiles à la prévision et l'anticipation des pertes, mais sur le terrain pour agir de manière adaptée il est indispensable de pouvoir évaluer le statut de l'animal afin de mettre en place une réanimation efficace.

II. ASPECT CLINIQUE ET DIAGNOSTIQUE

II.1. Evaluation clinique de l'état hydro-électrolytique du cheval

L'objectif de l'examen clinique est de permettre notamment d'évaluer le statut hydro-électrolytique d'un cheval adulte dans un contexte de pratique sportive, c'est-à-dire avant pendant ou à la suite d'un effort physique et de diagnostiquer d'éventuels troubles de la balance hydrique et/ou électrolytique.

II.1.1. Anamnèse- commémoratifs

Comme dans tout examen clinique l'anamnèse et le recueil de commémoratifs est primordial pour l'évaluation du cheval et les questions qui doivent être posées au propriétaire ou à l'entraîneur sont les suivantes :

- Quels sont la race, le sexe et l'âge du cheval ?
- Le cheval vient-il de pratiquer un effort : pendant combien temps, à quelle intensité et qui a cessé depuis combien de temps?
- Le cheval subit-il un entraînement et si oui de quelle nature ?
- Quelle est son alimentation et sa consommation d'eau quotidienne ?
- A-t-il été transporté et dans quelles conditions ?
- A-t-il bu ou refusé de boire et uriné récemment ?
- Le cheval a-t-il présenté des troubles particuliers au cours de l'exercice d'aujourd'hui ou une autre fois ? lesquels et pendant combien de temps ?
- A-t-il reçu des compléments ou un traitement de quelque nature dans les jours précédents ?
- Le cheval a-t-il transpiré au cours des dernières heures et pendant combien de temps ?

A la suite de cet entretien le clinicien doit être en mesure d'orienter son examen vers le diagnostic d'un trouble, la recherche éventuelle de l'existence d'un trouble ou bien un contrôle minutieux de bonne santé ou de bonne tolérance à l'effort.

II.1.2. Examen clinique à distance

Dans cette étape, il convient d'évaluer les points suivants :

- l'état d'embonpoint de l'animal
- le comportement de l'animal : abattement, agitation, signes d'inconfort et éventuellement abreuvement et diurèse
- la locomotion : présence de boîterie ou de raideur
- la sudation : active ou présence de traces
- la présence de tremblements ou fasciculations musculaires (pouvant indiquer une myopathie)
- la qualité, l'ampleur et la fréquence respiratoire
- présence d'œdèmes en cas d'hyperhydratation

II.1.3. Examen clinique rapproché

Comme dans tout examen, un examen clinique général complet doit être réalisé en insistant sur les points pouvant renseigner le statut hydro-électrolytique de l'animal :

- La fréquence cardiaque : elle augmente en cas d'hypovolémie
- L'état des muqueuses : humides en temps normal ou collantes lors de déshydratation
- Le Temps de Remplissage Capillaire : en temps normal inférieur ou égal à 2 secondes, signe d'hypovolémie si supérieur à 2 secondes
- Le pli de peau : la persistance est un indicateur du pourcentage de déshydratation extracellulaire
- La qualité du pouls : net ou filant en cas de déshydratation sévère
- La veine jugulaire : temps de remplissage normalement inférieur à 8s
- L'enfoncement des globes oculaires : devient notable à partir d'une déshydratation de 7%
- La température des extrémités : froide en cas d'hypovolémie

Selon les circonstances un examen neurologique doit être réalisé car certains troubles électrolytiques (troubles de la natrémie, hypocalcémie) peuvent entraîner des signes nerveux : dépression, léthargie, diminution du tonus anal, contraction synchrone du diaphragme, ataxie, convulsions, coma.

II.2. Examens complémentaires

II.2.1. L'hématocrite et les protéines totales plasmatiques

L'interprétation simultanée de leur mesure permet une évaluation des variations de la volémie, cependant leur variation est également soumise à d'autres phénomènes physiopathologiques qu'il convient d'éliminer avant toute interprétation.

Tableau XVII (Bonnet 94) : interprétation des variations des valeurs de l'hématocrite et des protéines totales

paramètres	Valeurs normales	augmentation	diminution
Hématocrite (%)	30-45	Déshydratation extracellulaire splénocontraction	Hyperhydratation extracellulaire anémie
Protéines totales (g/l)	65-70	Déshydratation extracellulaire myélome	Hyperhydratation extracellulaire Cachexie, entéropathie, insuffisance hépatique

On peut calculer le pourcentage de déshydratation à partir de la variation de concentrations plasmatiques en protéines totales grâce à la formule :

$$\% \text{déshydratation} = (1 - Pt_1/Pt_2) \times 100$$

Pt₁ et Pt₂ étant les concentrations plasmatiques en protéines totales avant et après la déshydratation

II.2.2. La pression osmotique

Elle représente un indicateur moins contestable que l'analyse biochimique et peut être obtenue soit par la mesure d'abaissement du point de congélation, soit par le calcul de l'osmolarité grâce à la formule (Brugère 85) :

$$\text{Osmolarité (mosmoles/l)} = 1,86 \times (\text{Na}^+ + \text{K}^+) + (\text{glucose}/180) + (\text{urée}/60) + 8,6$$

concentrations en Na et K en mmol/l

concentrations en glucose et urée en mg/l

Il convient de noter que la plus grande partie du contenu ionique peut être estimée par la somme (Na⁺ + K⁺). Parmi les molécules organiques, seules le glucose et l'urée ont un effet osmotique appréciable (Brugère 85).

Le calcul de l'osmolarité permet de calculer le déficit en eau, sachant que l'eau représente 60% du poids corporel et que la concentration plasmatique normale est de 300 mosmoles/l grâce à la formule (Brugère 85) :

$$\text{Déficit en eau (l)} = \frac{\text{Osmolarité} - 300}{300} \times 0,6 \times \text{poids corporel (kg)}$$

II.2.3. L'ionogramme

L'ionogramme permet l'évaluation des concentrations plasmatiques en électrolytes, les principales valeurs à déterminer sont la natrémie, la kaliémie et la chlorémie.

Les valeurs physiologiques moyennes chez le cheval adulte étant :

Na (mmol/l) : 140

K (mmol/l): 4

Cl (mmol/l): 100

La variation de la natrémie est le témoin de l'hydratation intracellulaire. Ainsi une hypernatrémie témoigne d'une déshydratation intracellulaire.

L'ionogramme permet de mettre en évidence des variations de la balance électrolytique dues par exemple aux pertes induites par la transpiration. Le déficit en sodium peut être estimé par la formule (Brugère 85) :

$$\text{Déficit en Na (meq)} = \frac{\text{Natrémie} - 140}{140} \times 0,3 \times \text{poids corporel (kg)}$$

Le sodium a une répartition principalement extracellulaire (environ 30 % du poids corporel)

Tableau XVIII (Bermond 2002) : récapitulatif des différents signes cliniques utilisés pour l'évaluation de la déshydratation chez le cheval adulte

Pourcentage de déshydratation	Signes cliniques	Déficit en eau (L)	Concentrations en Protéines totales (g/l)	Hématocrite (%)
< 5 %	Légère persistance du pli de peau, muqueuses brillantes, TRC = 1-2 s	18	65 - 70	30 -45
5 %	Pli de peau persistant 2 à 3s Muqueuses brillantes, TRC = 1-2s	20	75	40 -50
6 %	Pli de peau persistant 2 à 3s Muqueuses brillantes, TRC = 1-2s, pouls filant, dépression, décubitus sternal, début d'énophtalmie	27	75 - 80	55 -60
7 %	Pli de peau persistant 2 à 4s Muqueuses collantes, TRC=2-4s, pouls filant, nez froid, dépression décubitus sternal, énophtalmie ++	31	80 -85	60 - 65
9 %	Pli de peau persistant 6 à 10s Muqueuses collantes, TRC=4-5s, pouls très faible, extrémités froides, dépression, décubitus sternal, énophtalmie +++	40	85 -90	65 -70
10 -12 %	Pli de peau persistant 20 à 45s Muqueuses sèches, pouls à peine palpable, signes de choc, température subnormale, décubitus latéral, aspect moribond	45 -54	90	70
12 - 15	Muqueuses sèches, coma, agonie	54 – 67,5	> 90	> 70

II.3. Diagnostic du syndrome d'épuisement

II.3.1. Diagnostic clinique

Lors d'un effort d'endurance, le cavalier et le vétérinaire doivent être capable d'identifier les signes évocateurs d'un syndrome d'épuisement afin de pouvoir agir le plus tôt possible.

Les principaux symptômes présents de façon systématique ou probables lors de syndrome d'épuisement ont été décrits par Carlson et Foreman (Carlson 85 ; Foreman 98):

- dépression sévère, anorexie et refus de poursuivre l'exercice
- déshydratation avec diminution de la soif
- persistance d'un pouls, d'une fréquence respiratoire et d'une température élevée
- augmentation du temps de remplissage capillaire, muqueuses sèches, diminution de la pression du pouls, et distension jugulaire
- atonie intestinale et anale, coliques occasionnelles
- irrégularités cardiaques
- crampes musculaires et spasmes
- contraction synchrone du diaphragme

II.3.2. Diagnostic hémato-biochimique

A ces signes plus ou moins spécifiques, il est possible d'ajouter des variations d'ordre hémato-biochimiques .

Tableau XIX (Foreman 98) : récapitulatif des modifications biologiques observées lors de syndrome d'épuisement

	variation	commentaires
Hématocrite	↑	déshydratation
Protéines totales	↑	
leucocytes	↑	↓ et apparition de leucocytes dégénérés si diarrhée imminente
lymphocytes	↓	
Sodium	↑/↓	
Potassium	↓	
Chlore	↓	
Magnésium	↓	
Calcium (total et onisé)	↓	
urée	↑	En cas d'affection rénale induite
créatinie	↑	
CK	↑	Signe d'activité musculaire récente Possibilité de myopathie d'exercice
ASAT	↑	
LDH	↑	

TROISIEME PARTIE : APPLICATION DE LA REANIMATION LIQUIDIENNE PAR VOIE ORALE AU CHEVAL DE SPORT

Différentes voies d'administration peuvent être utilisées pour réanimer un cheval. Les deux principales utilisées en pratique sont la voie intraveineuse et la voie orale. Selon les conditions et les objectifs de la réanimation, ces deux voies présentent un intérêt différent. La voie intraveineuse est efficace dans le traitement des déshydratations sévères, elle permet un rétablissement rapide du volume circulant et l'administration d'une grande quantité de solutés. Cependant cette voie reste invasive et nécessite l'intervention d'un vétérinaire. Elle n'est pas utilisable lors de réanimation préventive et de déshydratation légère. La voie orale par ingestion ou par intubation naso-gastrique est une voie simple, pas chère et permet la restauration de légers déficits hydro-électrolytiques. La voie orale trouve donc un intérêt tout particulier dans la prise en charge du cheval de sport.

I. REALISATION PRATIQUE DE LA REANIMATION LIQUIDIENNE PAR VOIE ORALE

I.1. Les différents moyens de réanimation par voie orale

La voie orale est le moyen le plus simple et le plus pratique d'administrer des fluides ou des électrolytes à un cheval. Elle permet lors de déshydratation modérée ou légère d'éviter de recourir à la mise en place d'une voie intraveineuse qui nécessite la pose d'un cathéter et peut être à l'origine notamment de phlébites.

I.1.1. La prise volontaire de boisson

L'abreuvement est le moyen naturel dont dispose le cheval pour lutter contre la déshydratation. Ce moyen ne devrait en pratique jamais être négligé et le cheval devrait pouvoir boire à volonté en permanence.

En pratique, lors d'effort sportifs de nombreuses déshydratations résultent d'une mauvaise gestion de l'abreuvement du cheval avant pendant ou après l'exercice. Il est primordial de faire comprendre aux propriétaires et entraîneurs que le cheval doit pouvoir boire à sa soif le plus régulièrement possible.

Comme précédemment évoqué, un cheval peut perdre jusqu'à 15 L d'eau par heure par la sueur, or 8 à 10 L d'eau toutes les 30 à 60 min selon l'expression de sa soif peuvent être ingurgités par un cheval. Ainsi lors d'un exercice modéré dans des conditions normales, le cheval s'il lui est permis de boire ne devrait pas développer de déshydratation.

Les pertes en électrolytes peuvent également être compensées par l'abreuvement. En particulier si l'abreuvement est réalisé avec de l'eau dans laquelle des poudres ou des solutions contenant des électrolytes sont mélangés.

indications :

- entretien
- déshydratation légère
- efforts sportifs modérés
- prévention des désordres hydro-électrolytiques

Avantages :

- simple et utilisable par tout le monde
- peu coûteux
- non invasif
- évite tout problème de surhydratation
- permet l'administration d'électrolytes

inconvénients :

- soumise aux problèmes de diminution de la prise de boisson
- problème d'appétence des solutions d'électrolytes
- problème d'évaluation de la quantité d'éléments absorbés
- suppose une éducation des propriétaires et entraîneurs

I.1.2. L'abreuvement par intubation naso-gastrique

L'intubation naso-gastrique peut être envisagée lorsque le cheval ne s'abreuve pas suffisamment spontanément ou lors de refus des solutions d'électrolytes.

Cette méthode permet d'administrer jusqu'à 10L de fluides toutes les 30 min.

Indications :

- déshydratation légère à modérée
- effort sportif
- coliques
- administration contrôlée de solutions électrolytiques

contre-indications :

- lésion de la sphère oro-pharyngée
- obstruction oesophagienne
- reflux gastrique

avantages :

- rapide et peu coûteux
- administration d'une quantité de fluide définie
- administration d'électrolytes

- moins invasive que la voie intraveineuse

inconvénients :

- nécessite la maîtrise technique du geste d'intubation
- méthode invasive avec risque de lésions de la sphère oro-pharyngée et oesophagienne
- problème éthique à l'origine de controverses pour l'utilisation d'une méthode non-naturelle et invasive hors d'un contexte pathologique.

I.1.3. L'administration d'électrolytes seuls

L'administration ponctuelle d'électrolytes peut être réalisée sous forme de pâtes concentrées disponibles en seringues prêtes à l'emploi (ex : *endurolyte pâte orale*^R distribué par *I.P.A*) ou sous de forme de poudre (ex : *electrolyte gold*^R distribué par *S.E.O.A*) administrée directement dans la bouche grâce à une seringue.

Bien que cette méthode soit largement employée en pratique, il n'existe que peu d'études en validant l'utilité. En effet il n'a pas été prouvé de réelle efficacité de ce type de pâte orale. De même l'innocuité de ces compléments n'a jamais fait l'objet d'études sérieuses. Nyman et al. (Nyman 96) aux vues de leurs résultats contre-indiquent même leur utilisation.

Indications :

- déséquilibres électrolytiques lors d'efforts sportifs

avantages :

- simple à utiliser
- administration d'une quantité définie d'électrolytes
- non soumis au problème d'appétence

inconvénients :

- S'administre indépendamment de l'ingestion d'eau. En pratique, il convient de mettre systématiquement de l'eau en quantité suffisante à disposition. L'augmentation de l'osmolarité dans le contenu intestinal entraînerait dans le cas contraire une séquestration d'eau.
- Problème d'évaluation de l'absorption des électrolytes
- La quantité maximale administrée sans risque de surdosage ne suffirait pas à combler les pertes induites par un effort prolongé (Mc Cutcheon 98)
- Risque de surdosage : un surdosage en sel peut augmenter la pression sanguine et induire une libération de peptide natriurétique, conduisant à une excrétion urinaire excessive de sodium (Mc Keever 93).

D' un point de vue thérapeutique, la prise volontaire de boisson reste la solution qui devrait être envisagée avant toute autre.

Une gestion adaptée de l'abreuvement accompagnée d'éventuels suppléments électrolytiques permet normalement de prévenir tout problème de déshydratation ou troubles électrolytiques lors de la pratique d'un effort sportif chez le cheval.

Cependant la prise volontaire de boisson apparaît soumise aux facteurs de stimulation de la soif et aux problèmes d'appétence des solutions buvables.

I.2. Les facteurs influençant la prise volontaire de boisson

I.2.1. Le contrôle de la soif

Le mécanisme de la soif est contrôlé par les variations d'osmolarité du plasma et dans une moindre mesure par l'hypovolémie. Le contrôle s'effectue au niveau hypothalamique grâce à des cellules sensibles aux variations osmotiques. Ainsi une augmentation de l'osmolarité plasmatique déclenche le phénomène de soif. L'hypovolémie (moins déterminante que l'osmolarité) peut également stimuler la soif par l'intermédiaire de

barorécepteurs situés au niveau des parois des gros vaisseaux sanguins et de l'oreillette et en réponse à l'angiotensine II.

Selon Mc Guinness et al. (Mc Guinness 96) une augmentation de 8 mOsm/kg c'est-à-dire 3% de la pression osmotique plasmatique ou une diminution de 4,5% du volume sanguin (10-15 % du volume plasmatique) suffiraient à déclencher la soif.

Etant donné le rôle déterminant de la pression osmotique plasmatique dans le déclenchement de la soif, il est donc primordial de s'intéresser à la nature osmotiques des pertes, car une déshydratation isotonique sans modification de la pression osmotique plasmatique n'induit pas le déclenchement d'un phénomène de soif.

La prise volontaire de boisson est également influencée par des facteurs externes (Nyman 2001) :

- Température ambiante
- Alimentation
- Disponibilité en eau
- Qualité de l'eau

I.2.2. La « déshydratation volontaire »

La « déshydratation volontaire » est une expression empruntée à la médecine sportive humaine, elle signifie qu'un athlète subissant de larges pertes en fluides et ayant un libre accès à l'eau, ne comblera que les 2/3 des ses pertes en fluides. Ce phénomène est également observé chez le cheval.

Bien que les mécanismes exacts ne soient pas complètement élucidés (Scott et Hinchcliff 93), on peut en partie expliquer ce phénomène chez les chevaux d'endurance par le développement d'une déshydratation iso à hypotonique (Carlson 83, Carlson 87).

En effet lors d'exercice prolongé, le cheval subit des pertes iso à hypertoniques. Face au développement de cette déshydratation, le cheval tendra à combler ses pertes en buvant de l'eau. Ce comblement par un fluide hypotonique entraîne la dilution des fluides corporels, une déshydratation isotonique et une diminution de l'osmolarité plasmatique. Cette diminution de

la pression osmotique plasmatique entraîne un arrêt de la stimulation de la soif et contribue ainsi à la « déshydratation volontaire ».

Cliniquement il est ainsi impératif lors de pertes importantes de sueur de combler non seulement les déficits hydriques mais aussi les déficits électrolytiques et notamment sodiques. Cette précaution permet le maintien de la pression osmotique plasmatique et ainsi une réanimation orale efficace. Diverses études (Nyman 96 ; Hyypä 96) ont montré qu'on obtenait une meilleure réanimation en faisant boire des solutions salines que l'eau pure.

Dans de nombreuses publications sur le syndrome d'épuisement, est mentionné le fait que les chevaux atteints de ce syndrome présentent une diminution de la soif. La cause exacte de ce phénomène n'a cependant pas été clairement établie.

Le rôle de l'évaluation hydro-électrolytique par un clinicien apparaît dans ce cas primordiale. Un cheval qui ne semble pas vouloir boire n'est pas pour autant normalement hydraté et peut présenter des troubles de la balance électrolytique. Dans cette situation la réanimation par intubation naso-gastrique représente une solution thérapeutique adaptée.

I.2.3. Influence de la composition et appétence de la boisson.

Un des problèmes cliniques majeurs de la réanimation liquidienne hydro-électrolytique par voie orale reste la difficulté de faire boire des solutions salines au cheval. En effet la modification de la nature du breuvage entraîne une sélection et parfois un refus total d'abreuvement. Peu de données sont disponibles sur le goût et l'appétence de solutions de réhydratation. (Kölle 84) a étudié la palatabilité de différentes solutions de réhydratation et a montré que la majorité faisait l'objet d'un refus par le cheval à l'exercice. Cependant Nyman (Nyman 96) dans une étude comparant l'efficacité sur la réanimation de la prise de solution saline, d'eau pure ou d'eau après des pâtes concentrées a obtenu une ingestion de solution saline supérieure à l'ingestion d'eau seule au cours d'un exercice d'endurance.

En l'absence de consensus ou de données expérimentales précises issues d'études bien menées, les conseils que doit donner le praticien aux propriétaires sont de :

- tester le goût de son cheval pour les solutions salines hors période de compétition
- habituer le cheval à boire de telles solutions. Kleps et al. (Kleps 92) ont montré qu'on pouvait inciter des chevaux à l'exercice à boire des solutions salines en les leur proposant comme unique source d'eau pendant 12h. D'autres techniques sont évidemment envisageables.
- essayer d'augmenter l'appétence en y ajoutant par exemple un peu de jus de pomme.

Face à un refus d'abreuvement spontané, la réanimation orale par intubation naso-gastrique peut alors être réalisée.

I.3. Composition de la solution

I.3.1. Choix et réalisation de la solution à administrer

Le choix d'une solution de réanimation orale est basé sur le principe de remplacement des pertes induites par la transpiration.

Certains auteurs préconisent l'utilisation d'une solution hypertonique afin d'augmenter l'ingestion volontaire d'eau. Cependant, ce sujet fait l'objet d'une controverse, car divers auteurs affirment que l'administration orale d'une solution hypertonique entraîne la rétention d'eau dans le tractus intestinal.

Une solution isotonique (280 à 360 mOsm/L) semble adaptée aux pertes de sueur isotonique et permet également d'éviter le problème de « déshydratation volontaire » sans être à l'origine d'effets délétères.

Face à cette controverse, les solutions proposées dans ce document sont de nature isotonique.

Etant ici question de la réanimation liquidienne par voie orale chez le cheval de sport, il ne sera pas détaillé ici les besoins d'entretien journaliers d'un cheval au repos ou à l'entraînement, ni la supplémentation quotidienne. Il sera question ici uniquement de la réanimation ponctuelle lors d'un effort sportif en fonction des pertes induites par cet effort, on admettra pour cela que le cheval reçoit une alimentation adaptée à sa pratique sportive et qu'il ne présente aucun trouble hydrique ni électrolytique avant la pratique de l'effort.

Tableau XX (Tasker 66, Wolfer 99, Barlet 84, Lewis 95):Rappel : besoins moyens en eau, électrolytes et énergie d'un cheval adulte au repos

	Besoins d'entretien au repos Par Kg de poids vif
Eau (L)	0,06
Na⁺ (mmol)	1
K⁺ (mmol)	1,2
Cl⁻ (mmol)	0,9
Ca⁺⁺ (mmol)	1
Mg⁺⁺ (mmol)	0,6
Energie (KJ)	140

Plusieurs méthodes peuvent être envisagées pour déterminer la nature de la solution à administrer :

a- Les solutions commerciales

Il existe dans le commerce des solutions électrolytiques prêtes à l'emploi dont la composition est adaptée aux objectifs thérapeutiques.

Par exemple, *Colvital R entraînement*^R distribué par S.E.O.A et *golden whip*^R distribué par C.P.G. sont destinés aux chevaux de sport pour l'entraînement et la compétition respectivement.

Avantages :

- Prêt à l'emploi
- Plusieurs formules adaptées à l'objectif thérapeutique
- En vente chez le vétérinaire

Inconvénients :

- Cher
- Composition fixe
- Composition pas toujours adaptée aux besoins réels du cheval

b- élaboration d'une solution extemporanée

Il est possible d'utiliser des solutions élaborées extemporanément en diluant des sels dans de l'eau.

La solution la plus simple à réaliser est une solution isotonique de NaCl obtenue en diluant une cuillère de sel de cuisine (17g) dans 2 litres d'eau.

Avantages :

- Rapide et simple à réaliser

Inconvénients :

- Ne compense qu'une partie des pertes induites par la sueur

Il est possible cependant de réaliser une solution visant à compenser de manière optimale les pertes induites par la sueur sur le principe :

concentration en électrolyte dans la sueur = concentration en électrolyte de la solution

Pour obtenir les valeurs des concentrations en électrolytes 2 méthodes sont utilisables.

- Utilisation de tableaux d'approximations établis par de nombreux auteurs (ex. : tableau XXI)

Tableau XXI (Bermond 2002) (Carlson 85, Geor 95) : composition moyenne en électrolytes de la sueur chez le cheval

	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Concentration en électrolytes En (mmol/L)	125	30	150	3	2,5

Avantages :

- solution prête à l'emploi avant le début de l'exercice
- administrable tout au long de l'exercice
- compensation adaptée des pertes en électrolytes par la sueur

Inconvénients :

- ne permet pas de connaître la quantité à administrer
- ne prend en compte que les pertes induites par la transpiration

- évaluation clinique et/ou biologique du statut hydro-électrolytique du cheval

Avantages :

- compensation adaptée des déficits hydriques
- prend en compte les pertes d'entretien et d'effort par l'urine, les fécès et la respiration

Inconvénients :

- compensation en électrolytes moins adaptée
- réalisable et utilisable uniquement en fin d'exercice
- nécessite l'utilisation de matériel de mesure héματο-biochimique

I.3.2. L'utilisation du glucose ou de glycine dans les solutions de réanimation électrolytiques

Beaucoup de solutions électrolytiques commerciales contiennent du glucose ou de la glycine pour améliorer l'absorption des électrolytes. En humaine il a été observé que l'ajout d'un carbohydrate dans la solution de réanimation améliorerait l'absorption d'eau et de Na⁺ dans le tractus intestinal (Monreal 99). Cependant très peu d'études valident ce concept en médecine équine.

Monreal (Monreal 99) a comparé l'effet d'une solution électrolytique de composition similaire à la sueur et l'effet d'une solution isotonique diluée de moitié en électrolytes avec du glucose et de la glycine sur une déshydratation induite par l'injection de furosémide. Il en a conclu que la réanimation était plus efficace avec la solution d'électrolytes qu'avec la solution de glucose-glycine-électrolytes.

L'explication de cette observation peut résider dans le fait que l'ajout de glucose dans une solution isotonique est à l'origine d'une diminution de la concentration en électrolytes. L'effet théorique du glucose sur l'absorption des électrolytes ne compensent à priori pas cette diminution.

Sosa Leon et al. (Sosa Leon 95 n°86) a fait une étude sur l'effet de la tonicité, de la concentration en glucose et de la température sur l'absorption et l'élimination d'une solution orale de réhydratation. Ils ont observé que l'ajout de glucose et la température de la solution n'avaient aucun effet significatif sur l'absorption et l'élimination de la solution orale. Les auteurs ont en outre montré qu'une solution hypertonique (628 mOsm/Kg) était absorbée moins rapidement et excrétée plus rapidement qu'une solution hypo ou isotonique.

L'intérêt de l'ajout de glucose dans les solutions électrolytes apparaît toujours discutée en pratique vétérinaire. Son efficacité sur l'absorption des électrolytes n'a à ce jour pas été prouvée.

De même certaines solutions commerciales contiennent du citrate, de l'acétate ou du fructose et des acides aminés qui augmenteraient l'absorption de sodium, d'eau ou de potassium. Ces compositions n'ont pas à ce jour fait l'objet d'une démonstration de leur pertinence thérapeutique.

II. ETABLISSEMENT D'UNE STRATEGIE DE REANIMATION PAR VOIE ORALE DU CHEVAL A L'EXERCICE

II.1. Etude de l'efficacité des différentes méthodes de réanimation

II.1.1. Influence de l'hyperhydratation sur la performance

Chez le cheval comme chez l'homme, la transpiration est le principal mécanisme de thermorégulation pendant l'exercice. Or la transpiration dépend de la fonction cardio-vasculaire et du maintien du volume plasmatique. Chez l'homme il a été prouvé que l'hypohydratation compromettrait la fonction cardio-vasculaire et augmentait les contraintes liées à la chaleur durant un exercice prolongé (Tankersley 92, Nadel 80).

Le principe de l'hyperhydratation repose sur l'idée de diminuer, retarder ou éliminer les effets délétères de l'hypohydratation et serait d'autant plus pertinent chez le cheval dont la prise volontaire de boisson adéquate est difficile à assurer.

Chez l'homme, les résultats sont parfois contradictoires quant à l'efficacité de l'hyperhydratation avant l'exercice. Chez le cheval, les études sont très parcellaires. Sosa Leon et al. (Sosa Leon 95 n^o87) n'ont observé aucune différence significative entre des chevaux hyperhydratés et des chevaux de contrôle. Le débit cardiaque, la fréquence cardiaque et l'augmentation de la température corporelle centrale, durant un exercice de 90 min. étaient comparables dans les 2 groupes. Ils ont cependant observé le maintien d'un volume plasmatique plus élevé chez les chevaux hyperhydratés. Les résultats de Geor et Mc Cutcheon (Geor 98 n^o26) confirment cette absence d'amélioration des fonctions thermorégulatrices chez les chevaux hyperhydratés.

En pratique, il semblerait que l'hyperhydratation n'apporte aucun avantage particulier pour les fonctions cardio-vasculaires et thermorégulatrices lors d'efforts prolongés. Cependant, cette technique apparaît très utilisée dans le monde du cheval lors d'efforts d'endurance.

II.1.2. Effet de la prise de soluté pendant l'exercice

Il est maintenant dans les habitudes des cavaliers de réanimer leur monture pour un exercice prolongé. Les différentes méthodes : eau, pâtes, solutions de réhydratation sont utilisées et chaque cavalier a ses préférences et ses habitudes. Cependant très peu d'études scientifiques permettent d'évaluer l'efficacité relative de chaque méthode : la nature des suppléments à administrer, le moment, la fréquence optimale d'administration restent mal maîtrisés.

Nyman et al. (Nyman 96) ont comparé l'impact de 3 méthodes de réhydratation durant une course d'endurance de 62 Km. 3 groupes de chevaux recevaient à chaque aire de contrôle vétérinaire : de l'eau, de l'eau après l'administration d'une pâte concentrée (30 g de NaCl) ou une solution de NaCl à 0,9%.

Les résultats de cette étude montrent que l'ingestion d'une solution saline pendant et après l'exercice est la meilleure stratégie. Elle améliore en effet la récupération de la perte de poids corporel. Les pâtes concentrées administrées pendant l'exercice n'ont pas favorisé la prise volontaire d'eau, mais la persistance d'une concentration plasmatique en sodium élevée qui traduirait des perturbations des échanges entre compartiments liquidiens. Ces auteurs déconseillent donc l'administration de pâtes concentrées immédiatement avant et pendant l'exercice.

Cependant, Coenen et al. (Coenen 95) ont observé un effet bénéfique de l'administration de Na(79,7 mg/kg)Cl(165,6mg/kg) 4 h avant l'exercice sur la balance hydro-électrolytique durant et après l'exercice.

Cette divergence pourrait s'expliquer par le fait que l'administration d'une pâte concentrée en électrolytes et hypertonique, produirait un appel d'eau au niveau de l'intestin. Cette mobilisation de l'eau au niveau de l'intestin entraîne une augmentation de l'osmolarité plasmatique et déclenche le phénomène de soif. Le cheval boit, rétablit l'osmolarité intestinale et l'absorption d'eau et d'électrolytes peut alors se produire.

Pour conclure :

- Les pâtes concentrées semblent effectivement pouvoir avoir un effet bénéfique sur le maintien de la balance hydro-électrique pendant l'exercice, MAIS uniquement si elles sont administrées suffisamment longtemps avant le début de l'exercice (Coenen et al. 95 conseille 4h) afin que le cheval puisse boire suffisamment pour rétablir sa balance osmotique et hydro-électrique. Dans le cas contraire, l'effet peut être délétère en aggravant une déshydratation et en induisant des troubles électrolytiques.
- L'eau est toujours bénéfique pour le cheval et peut-être administrée sans danger.
- Les solutions électrolytiques semblent être efficace pour compenser les pertes induites par la sueur et permettent une meilleure récupération.

II.1.3. Administration de fluides après l'exercice

La réanimation après l'exercice est parfois négligée. Le cheval a fini son effort et semble en bonne santé. Il est cependant capital d'effectuer une réanimation post-exercice efficace notamment dans le cas où les chevaux doivent produire un autre effort le jour suivant. C'est à ce moment que le clinicien doit prendre en compte l'existence du phénomène de déshydratation volontaire. Le cheval ne compensera pas volontairement de manière suffisante sa déshydratation, qui pourra ainsi persister 24h après l'exercice et compromettra ses performances du lendemain.

Il convient donc après l'exercice de rétablir les pertes hydro-électrolytiques soit par complémentation de la ration ou de l'eau de boisson, soit par intubation naso-gastrique.

II.2. Choix d'une stratégie

La stratégie à adopter doit être réfléchi individuellement. Elle dépend d'un grand nombre de facteurs qu'il convient de définir et d'évaluer afin d'adapter la meilleure stratégie selon les conditions d'exercice sportif ou médicales.

Guide pour le choix d'une stratégie :

- définir la nature de l'effort demandé :
 - longueur, intensité
 - occasionnel ou régulier
 - conditions environnementales dans lequel il est réalisé

- condition sportive du cheval :
 - entraînement régulier
 - reprise de la saison
 - antécédents de troubles hydro-électrolytiques ou problème de performance ou de récupération

- alimentation du cheval :
 - équilibre de la ration
 - supplémentation en sels : dans l'alimentation ou en blocs
 - eau à volonté

- conditions précédant l'exercice :
 - conditions de transport : chaleur, durée, abreuvement (nécessite ou non une réanimation)
 - conditions d'hébergement (un cheval stressé peut refuser de boire ou d'uriner)
 - évaluation des pertes au cours des précédents exercices

- disposition du cheval à boire des solutions salines ou ingérer des pâtes concentrées en seringue

- matériel ou vétérinaire à disposition pour l'évaluation clinique et biologique ou l'intubation

- expérience ou préférence personnelle pour une méthode

CONCLUSION

Le cheval de sport, lors de la pratique d'un effort, est soumis aux contraintes liées à la gestion de la chaleur métabolique produite par le travail musculaire. Les mécanismes de thermorégulation mis en jeu impliquent des pertes significatives en fluides et électrolytes dont l'importance varie en fonction de la nature et des conditions de l'exercice. Ces pertes pouvant être considérables, la mise en place d'une compensation ou d'une prévention s'avère tout à fait bénéfique voire indispensable pour les performances et la santé du cheval.

La réanimation liquidienne par voie orale s'avère une méthode tout à fait adaptée aux problèmes de déshydratation et de troubles hydro-électrolytiques induits par l'exercice. Bien que l'efficacité relative des différentes méthodes soit encore discutée, l'administration de solutés ioniques semble être la méthode la plus appropriée pour la réanimation pendant et après l'exercice.

Le problème actuel de la réanimation liquidienne par voie orale chez le cheval de sport est le manque de données scientifiques permettant son utilisation rigoureuse. Bien qu'elle soit déjà depuis plusieurs années employée de manière habituelle par les entraîneurs et les propriétaires de chevaux, il demeure dans le monde scientifique de nombreuses questions non élucidées. En effet l'évaluation des pertes par la sueur apparaît encore trop expérimentale et ne permet donc pas d'établir de manière rigoureuse de plan de réanimation et l'efficacité des différentes méthodes n'a été que très peu étudiée.

En 1991, G. Santhonnax (Santhonnax 91) avait réalisé une enquête sur l'utilisation des électrolytes en France. 85% des cavaliers de course d'endurance utilisait déjà les électrolytes lors des courses et 77,8% d'entre eux souhaitaient des améliorations quant à la formule, le mode d'administration et l'appétence.

Les enjeux de la médecine sportive équine ne cessent d'augmenter. La demande de la part des cavaliers est toujours croissante. Dans le domaine de la réanimation du cheval de sport, l'apport d'un trop petit nombre de recherches scientifiques ne semble pas encore pouvoir satisfaire les attentes des utilisateurs et encore moins l'établissement de recommandations cohérentes.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANDREWS, F.M. ; RALSTON, S.L. ; WILLIAMSON, L.H. ; et al.
Weight loss, water loss and cation balance during the endurance test of a 3-day event
Equine vet. J. Suppl., 1995, **18**, 294-297
2. ARMSTRONG, L.E. ; MARESH, C.M.
The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes
Sports Med., 1991, **12**, 302
3. BAIN, F.T. ; MERRIT, A.M.
Decreased erythrocyte potassium concentration associated with exercise-related myopathy in horses
J. Am. Vet. Med. Assoc., 1990, **196**, 1259
4. BARLET, J.P.
Métabolisme minéral : besoins et apports
Jarrige, R. ; Martin-Rosset, W. (eds), *Le cheval, Reproduction, sélection, alimentation; exploitation*. INRA, Paris, 1984, 303-318
5. BERMOND, V.
Guide pratique de la réhydratation parentérale et orale chez le cheval adulte
Th. : Med. Vet. : Lyon, 2002, 204p
6. BLIGH, J.
The thermosensitivity of the hypothalamus and thermoregulation in mammals
Biol. Rev., 1966, **41**, p317
7. BONNET, J.-M. ; CADORE, J.-L.
Thérapeutique liquidienne chez le cheval
Le Point Vétérinaire, 1994, **26**, 163, 39-50
8. BRINNEL, H. ; CABANNAC, M. ; HALES, J.R.S.
Critical upper levels of body temperature, tissue thermosensitivity and selective brain cooling in hyperthermia
Hales, J.R.S., Richards, D.A.B. (eds): *Heat Stress: Physical Exertion and Environment*. Amsterdam, Elsevier Scientific, 1987, 209p
9. BROBST, D.F. ; PARRY, P.W.
Normal clinical data
Robinson, N.E. (ed): *Current Therapy in Equine Medicine 2*, 1987, 725p
10. BRUGERE, H.
Physiologie des secteurs liquidiens de l'organisme. Les équilibres hydro-électrolytique et acido-basique
Rec. Med. Vet., 1985, **161**, 3, 177-193

11. CARLSON, G.P.
Thermoregulation and fluid balance in the exercising horse
Equine Exercise Physiol., 1983, 291-309

12. CARLSON, G.P.
Medical problems associated with protracted heat and work stress in horses
Compend. Contin. Educ., 1985, 7, 10, 542-556

13. CARLSON, G.P.
Hematology and body fluids in the equine athlete: a review
Gillepsie, J.R. ; Robinson, N.E. (eds): *Equine exercise Physiology 2*, Davis CA, ICEEP Editions, 1987, 393p

14. CARLSON, G.P.
Alterations in sodium balance: Clinical implications in the horse
Proc. 10th Am. Coll. Vet., Internal Med. Forum, 1992, 540-541

15. CARLSON, G.P. ; OCEN, P.O.
Composition of equine sweat following exercise in high environmental temperatures and in response to intravenous epinephrine administration
J. Equine Med. Surg., 1979, 3, p27

16. COENEN, M. ; MEYER, H. ; STEINBRENNER, B.
Effects of NaCl supplementation before exercise on metabolism of water and electrolytes
Equine vet. J. Suppl., 1995, 18, 270-273

17. COFFMAN, J.R. ; AMEND, J.F. ; GARNER, H.E. ; et al.
A conceptual approach to pathophysiologic evaluation of neuromuscular disorders in the horse
J. Equine Med. Surg., 1978, 2, 85

18. COSTILL, D.L.
Sweating: its composition and effects on body fluids
Annals of the New York Academy of Science, 1977, 301, 160-174

19. DWYER, R.M.
The practical diagnosis and treatment of metabolic conditions in endurance horses
Equine Pract., 1986, 8, 8, 21-32

20. ECKERSALL, P.D. ; KERR, M.G. ; SNOW, D.H.
An investigation into the proteins of horse sweat (*Equus caballus*)
Comp. Biochem. Physiol., 1982, (B) 73, 375

21. FLAMINIO, M.J.B.F. ; RUSH, B.R.
Fluid and electrolyte balance in endurance horses
Vet. Clin. North Am.: Equine Pract., 1998, 14, 1, 147-157

22. FOREMAN, J.H.
The exhausted horse syndrome
Vet. Clin. North Am.: Equine Pract., 1998, 14, 1, 205-219

23. GEOR, R.J. ; Mc CUTCHEON, L.J.
Thermoregulation and clinical disorders associated with exercise and heat stress
Compend. Contin. Educ. Pract. Vet., 1996, **18**, 436
24. GEOR, R.J. ; Mc CUTCHEON, L.J.
Influence of training on exercise-associated heat tolerance in Thoroughbred horses
J. Sports Sci., 1996, **14**, 347
25. GEOR, R.J. ; Mc CUTCHEON, L.J.
Thermoregulatory adaptations associated with training and heat acclimation
Vet. Clin. North Am.: Equine Pract., 1998, **14**, 1, 97-120
26. GEOR, R.J. ; Mc CUTCHEON, L.J.
Hydration effects on physiological strain of horses during exercise-heat stress
J. Appl. Physiol., 1998, **84**, 2042-2051
27. GEOR, R.J. ; Mc CUTCHEON, L.J. ; ECKER, G.L. ; et al.
Thermal and cardiorespiratory responses of horses to submaximal exercise under hot and humid conditions
Equine vet. J. suppl., 1995, **20**, 125
28. GISOLFI, G.V.
Influence of acclimatization and training on heat tolerance and physical endurance
Hales, J.R. ; Richards, D.A.B. (eds): *Heat Stress: Physical Exertion and Environment*.
Amsterdam, Elsevier Science, 1987, 355p
29. GISOLFI, G.V. ; WILSON, N.C. ; CLAXTON, B.
Work-heat tolerance of distance runners
Annals of the New York Academy of Science, 1977, **301**, 139-150
30. GREENLEAF, J.E. ; CASTLE, B.L.
Exercise temperature regulation in man during hypohydration and hyperhydration
J. Appl. Physiol., 1971, **30**, 847-853
31. GUTHRIE, A.J.
Thermoregulation, Base Mechanisms and Hyperthermia
Vet. Clin. North Am., 1998, **14**, 1, 45-59
32. HARRIS, P.A. ; SNOW, D.H.
Role of electrolyte Imbalances in the Pathophysiology of the Equine Rhabdomyolysis Syndrome
Equine Exercise Physiol., 1991, **3**, 435-442
33. HARRIS, P.A. ; SNOW, D.H. ; GREET, T.R.C. ; et al.
Some factors influencing plasma ACT/CK activities in Thoroughbred racehorses
Equine vet. J. Suppl., 1990, **9**, p66

34. HINTON, M. ; YEATS, J.J. ; HASTIE, P.S. ; et al.
Synchronous diaphragmatic flutter in horses
Vet. Rec., 1976, **99**, 402-403
35. HODGSON, D.R. ; DAVIS, R.E. ; Mc CONAGHY, F.F.
Thermoregulation in the horse in response to exercise
Brit. vet. J., 1994, **150**, 3, 219-235
36. HODGSON, D.R. ; Mc CUTCHEON, L.J. ; BYRD, S.K. ; et al.
Dissipation of metabolic heat in the horse during exercise
J. Appl. Physiol., 1993, **74**, p1161
37. HODGSON, D.R. ; ROSE, R.J. ; KELSO, T.B. ; et al.
Respiratory and metabolic responses in the horse during moderate and heavy exercise
Pflugers Arch., 1990, **417**, p73
38. HYYPPÄ, S. ; SAASTAMOINEN, M. ; PÖSÖ, A.R.
Restoration of water and electrolyte balance in horses after repeated exercise in hot and humid conditions
Equine vet. J. Suppl., 1996, **22**, 108-112
39. JANSSON, A. ; DAHLBORN, K.
Effects of feeding frequency and voluntary salt intake on fluid and electrolyte regulation in athletic horses
Am. Physiol. Soc., 1999, 1610-1616
40. JANSSON, A. ; LINDHOLM, A. ; LINDBERG, J.E. ; DALBORN, K.
Effects of potassium intake on potassium, sodium and fluid balance in exercising horses
Equine vet. J. Suppl., 1999, **30**, 412-417
41. JANSSON, A. ; RYTTHAMMAR, A. ; LINDBERG, J.E. ; et al.
Voluntary salt (NaCl) intake in Standardbred horses
Pferdeheilkunde, 1996, **9**, p12
42. JONES, J.H. ; CARLSON, G.P.
Estimation of energy costs and heat production during athree-day event
Equine vet. J. Suppl., 1995, **20**, p23
43. JONES, J.H. ; TAYLOR, C.R. ; LINDHOLM, A. ; et al.
Blood gas measurements during exercise: Errors due to temperature correction
J. Appl. Physiol., 1989, **67**, p879
44. JOUSSET, G.
La thérapeutique liquidienne chez le cheval
Th. : Med. Vet. : Nantes, 2001
45. JUDSON, G.J. ; MONEY, G.J.
Body water and water turnover rate in Thoroughbred horses in training
Snow, D.H. ; Persson, S.B.G. ; Rose, R.J. (eds), *Equine Exercise Physiology*, 1983, 371-376

46. JULIAN, L.M. ; LAWRENCE, J.H. ; BERLIN, N.I. ; HYDE, G.M.
Blood volume, body water, and body fat of the horse
J. Appl. Physiol., 1956, **8**, 651-653
47. KERR, M.G. ; SNOW, D.H.
Composition of sweat of the horse during prolonged epinephrine (adrenaline) infusion, heat exposure and exercise
Am. J. Vet. Res., 1983, **44**, 1571-1577
48. KLEPS, N.A. ; HOUP, K.A. ; CALABRIA-MAHER, V.
Water and salt balance in exercising horses
Equine athlete, 1992, **5**, 5-11
49. KOHN, C.W. ; HINCHCLIFF, K.W.
Physiological responses to the endurance test of a 3-day-event during hot and cool weather
Equine vet. J. Suppl., 1995, **20**, 31-36
50. KÖLLE, H.
Über die Fütterungspraxis von Hochleistungspferden sowie die Trinkwasseraufnahme (mit und ohne Salz/Glukosezusatz) bei Pferden während und nach körperlicher Belastung
Inaugural dissertation, Tierärztliche Hochschule, Hannover
51. KNOCHEL, J.P.
Exertional rhabdomyolysis
New Eng. J. Med., 1972, **287**, p927
52. KNOCHEL, J.P. ; SCHLEIN, E.M.
On the mechanism of rhabdomyolysis in potassium depletion
J. Clin. Invest., 1972, **51**, p1750
53. LEWIS, L.D.
Equine clinical nutrition: feeding and care
Williams and Wilkins Company, Baltimore, 1995, 587
54. LINDINGER, M.I. ; ECKER, G.L.
Ion and water losses from body fluids during a 163 km endurance ride
Equine vet. J. Suppl., 1995, **18**, 314-322
55. MANSMANN, R.A. ; CARLSON, G.P. ; WHITE, N.A. ; et al.
Synchronous diaphragmatic flutter in horses
JAVMA, 1974, **165**, 265-270
56. MASRI, M. ; FREESTONE, J.F. ; WOLFSHEIMER, K.J. ; et al.
Alterations in plasma volume, plasma constituents, renin activity and aldosterone induced by high intensity exercise
Equine vet. J. Suppl., **9**, 1990, p72
57. Mc CONAGHY, F.F. ; HALES, J.R.S. ; ROSE, R.J. ; et al.
Selective brain cooling in the horse during exercise and environmental heat stress
J. Appl. Physiol., 1995, **79**, p1849

58. Mc CONAGHY, F.F. ; HODGSON, D.R. ; EVANS, D.L. ; ROSE, R.J.
Effect of two types of training on sweat composition
Equine vet. J. Suppl., 1995, **18**, 285-288
59. Mc CUTCHEON, L.J. ; GEOR, R.J.
Sweat fluid and ion losses in horses during training and competition in cool vs. hot ambient conditions: implications for ion supplementation
Equine vet. J. Suppl., 1996, **22**, 54-62
60. Mc CUTCHEON, L.J. ; GEOR, R.J.
Influence of training-associated thermoregulatory adaptations on sweating rate and sweat composition in Thoroughbred horses
J. Sports Sci., 1996, **14**, p347
61. Mc CUTCHEON, L.J. ; GEOR, R.J.
Sweating. Fluid and Ion Losses and Replacement
Vet. Clin. North Am.: Equine Pract., 1998, **14**, 1, 75-95
62. Mc CUTCHEON, L.J. ; GEOR, R.J. ; LINDINGER, M.I.
Sweating rate and sweat composition during heat acclimation in Thoroughbred horses
J. Sports Sci., 1996, **14**, p347
63. Mc CUTCHEON, L.J. ; GEOR, R.J. ; HARE, M.J. ; KINGSTON, J.K. ; STAEMPFLI, H.R.
Sweat composition : comparison of collection methods and effects of exercise intensity
Equine vet. J. Suppl., 1995, **18**, 279-284
64. Mc GINNESS, S.G. ; MANSMANN, R.A. ; BREUHAUS, B.A.
Nasogastric electrolyte replacement in horses
Compend. Contin. Educ. Pract. Vet., 1996, **18**, 8, 942-950
65. Mc KEEVER, K.H. ;
Electrolyte and water balance in the exercising horse
Thompson, K. (ed): Nutrition Manual for Veterinarians. St Louis, AAEP and Purina Mills, 1997, 79-86
66. Mc KEEVER, K.H.
Effect of exercise on fluid balance and renal function in horses
Vet. Clin. North Am.: Equine Pract., 1998, **14**, 1, 23-43
67. Mc KEEVER, K.H. ; HINCHCLIFF, K.W.
Neuroendocrine control of blood volume, blood pressure, and cardiovascular function in horses
Equine vet J. Suppl., 1995, **18**, 77-81
68. Mc KEEVER, K.H. ; HINCHCLIFF, K.W. ; REED, S.M.
Role of decreased plasma volume in hematocrit alterations during incremental treadmill exercise in horses
Am. J. Physiol., 1993, **265**, p404

69. MONREAL, L. ; GARZON, N. ; ESPADA, Y. ; et al.
Electrolyte vs. glucose-electrolyte isotonic solutions for oral rehydration therapy in horses
Equine vet. J. Suppl., 1999, **30**, 425-429
70. MOROFF, S.V. ; BASS, D.E.
Effects of overhydration on man's work in the heat
J. Appl. Physiol., 1965, **20**, 267-270
71. MOSTERT, H.J. ; LUND, R.J. ; GUTHRIE, A.J. ; CILLIERS, P.J.
Integrative model for predicting thermal balance in exercising horses
Equine vet J. Suppl., 1996, **22**, 7-15
72. MUYLLE, E. ; NUYTEN, J. ; VAN DEN HENDE, C. ; et al.
Determination of red blood cell potassium content in horses with diarrhea: a practical approach to therapy
Equine vet. J., 1984, **16**, p450
73. NADEL, E.R. ; FORTNEY, S.M. ; BRUCE WENGER, C.
Effect of hydration state on circulatory and thermal regulations
Am. Physiol. Soc., 1980, 715-721
74. NYMAN, S.
Water intake and fluid regulation in the horse
Th. : Med. Vet. : Uppsala, 2001, 49p
75. NYMAN, S. ; JANSSON, A. ; DAHLBORN, K. ; LINDHOLM, A.
Strategies for voluntary rehydration in horses during endurance exercise
Equine vet. J. Suppl., 1996, **22**, 99-106
76. ROSE, R.J. ; ARNOLD, K.S. ; CHURCH, S. ; et al.
Plasma and sweat electrolyte concentrations in the horse during long-distance exercise
Equine vet. J., 1980, **12**, p19
77. ROWELL, L.B.
Cardiovascular adjustments to thermal stress
Handbook of physiology. The Cardiovascular System. Peripheral and Organ Blood Flow, 1983, 967-1023
78. ROWELL, L.B.
Circulatory adjustments to dynamic exercise and heat stress: competing controls
Human Circulation Regulation During Physical Stress. New York, Oxford University Press, 1986, 363p
79. SONTONNAX, G.
Correction des déséquilibres hydro-électrolytiques chez le cheval d'endurance au cours de l'effort
Th. : Med. Vet. : Lyon, 1991, 84p

80. SCHOTT, H.C. ; HINCHCLIFF, K.W.
Fluids, electrolytes, and bicarbonate
Vet. Clin. North Am., Equine Pract., 1993, **9**, 577-604
81. SCOTT, C.M. ; MARLIN, D.J. ; SCHROTER, R.C.
Modified ventilated capsule for the measurement of sweating rate in the exercising horse
Equine vet. J. Suppl., 1996, **22**, 48-53
82. SEJERSTED, O.M.
Electrolyte imbalance in body fluids as a mechanism of fatigue during exercise
Lamb, D. ; gisolfi, C.V. (eds): *Perspectives in Exercise Science and Sports Medecine*, 1992, 5, 207p
83. SMITH, F.
Note on composition of the sweat of the horse
J. Physiol., 1890, **11**, 497-501
84. SNOW, D.H. ; KERR, M.G. ; NIMMO, M.A. ; ABBOTT, E.M.
Alterations in blood, sweat, urine and muscle composition during prolonged exercise in the horse
Vet. Rec., 1982, **110**, 377-384
85. SOSA LEON, L.A.
Treatement of exercice-induced dehydration
Vet. Clin. North Am.: Equine Pract., 1998, **14**, 1, 159-173
86. SOSA LEON, L.A. ; DAVIE, A.J. ; HODGSON, D.R. ; ROSE, R.J.
The effects of tonicity, glucose concentration and temperature of an oral rehydration solution on its absorption and elimination
Equine vet. J. Suppl., 1995, **20**, 140-146
87. SOSA LEON, L.A. ; DAVIE, A.J. ; HODGSON, D.R. ; EVANS, D.L. ; ROSE, R.J.
Effects of oral fluid on cardiorespiratory and metabolic responses to prolonged exercise
Equine vet. J. Suppl., 1995, **18**, 274-278
88. TANKERSLEY, C.G. ; ZAPPE, D.H. ; MEISTER, T.G. ; KENNEY, W.L.
Hypohydration affects forearm vascular conductance independent of heart rate during exercise
Am. Physiol. Soc., 1992, 1232-1237
89. TASKER, J.B.
Fluid and electrolyte studies in the horse. Blood values in 100 normal horses
Corn. Vet., 1966, **56**, 67-76
90. THOMAS, D.P. ; FREGIN, G.F.
Cardiorespiratory drift during exercice in the horse
Equine vet. J. Suppl., 1990, **9**, p61

91. VAAMONDE, C.A.
Sodium depletion
Paper, S. (ed): Sodium: Its Biological Significance, CRS Press Inc, Boca Raton, F.L., 207-264

92. WOLFER, R.
Evaluation des besoins.
Alimentation du cheval. 2^{ème} édition. Editions France Agricole, Paris, 1999, 82-129

LISTE DES FIGURES

- I. Tableau (Mc Cutcheon et Geor 98) : taux de transpiration, concentration ionique et osmolarité de la sueur à 2 intensités d'exercice et 3 conditions environnementales différentes, après 10 min. d'exercice.....**8**
- II. Graphique (Mc Keever 98) : variations du volume plasmatique chez le cheval pendant l'exercice.....**11**
- III. Graphique (Schott 93) : estimation des pertes en eau et électrolytes durant une course d'endurance de 80 km.....**13**
- IV. Graphique (Hodgson 93) : taux moyen de transpiration au niveau du coup (A) et du dos (B) des chevaux durant des exercices à 40, 65 et 90% de VO_{2max} respectivement, et durant les 30 premières minutes de récupération.....**18**
- V. Graphique (Hodgson 93) : relation entre la température du sang dans l'artère carotidienne et le taux de transpiration au niveau du coup et du dos de 6 chevaux pendant des exercices à 40 (A), 65 (B), et 90 (C) de VO_{2max} et pendant les 30 minutes de récupération après l'exercice.....**19**
- VI. Graphique (Hodgson 93) : température au niveau des muscles glutéaux (A) et au niveau des artères carotidiennes (B) et pulmonaires (C) de 6 chevaux pendant des exercices à 40, 65 et 90 % de VO_{2max} , respectivement, et pendant les 30 minutes post-exercice.....**21**
- VII. Schéma (Dwyer 86) : résumés des troubles pouvant survenir à la suite d'un effort entraînant d'importantes pertes hydro-électriques.....**25**
- VIII. Graphique (Mc Cutcheon 96) : taux de transpiration pendant et après un test d'exercice d'endurance et de vitesse simulée sous des conditions climatiques tempérées et chaudes.....**26**
- IX. Graphique (Mostert 96): prévision des effets des variations d'humidité à 2 températures et 2 vitesses du vent sur les pertes de chaleur par évaporation de la sueur pour un cheval Thoroughbred standard faisant un effort à 90% de VO_{2max}**29**
- X. Tableau (Mc Cutcheon et Geor 96) : apport alimentaire quotidien et suppléments minéraux avant et pendant un entraînement de 2 semaines suivi d'un test simulé de vitesse et d'endurance dans des conditions tempérées/sèches ($T=20^{\circ}C/H=45-55\%$) et chaudes/humides ($T=33-35^{\circ}C/H=80-85\%$).....**32**

XI.	Tableau XIa (Mc Cutcheon et Geor 96) : pertes totales calculées en fluides et électrolytes par la sueur durant 2 semaines d'entraînement dans des conditions tempérées/sèches et chaudes/humides.....	32
	Tableau XIb (Mc Cutcheon et Geor 96) : pertes totales calculées en fluides et électrolytes par la sueur pendant et après un exercice simulé de vitesse et d'endurance dans des conditions tempérées/sèches et chaudes/sèches.....	33
XII.	Tableau (Snow 82) : paramètres hématologiques et biochimiques avant, pendant et après une course d'endurance de 80 km.....	38
XIII.	Tableau (Snow 82) : pertes par la sueur et l'urine au cours d'une course d'endurance de 80 km.....	39
XIV.	Tableau (Jousset 2001) : Etiologie des variations des fractions d'excrétion urinaire des ions Na ⁺ et K ⁺	42
XV.	Tableau (Mc Cutcheon 95) : Comparaison de la concentration ionique de la sueur induite par l'exercice collectée par différentes techniques après un exercice de faible intensité (50% VO _{2max}).....	44
XVI.	Tableau : Composition ionique de la sueur selon différentes publications.....	46
XVII.	Tableau (Bonnet 94) : interprétation des variations des valeurs de l'hématocrite et des protéines totales.....	49
XVIII.	Tableau (Bermond 2002) : récapitulatif des différents signes cliniques utilisés pour l'évaluation de la déshydratation chez le cheval adulte.....	52
XIX.	Tableau (Foreman 98) : récapitulatif des modifications biologiques observées lors de syndrome d'épuisement.....	54
XX.	Tableau (Tasker 66, Wolfer 99, Barlet 84, Lewis 95):Rappel : besoins moyens en eau, électrolytes et énergie d'un cheval adulte au repos.....	63
XXI.	Tableau (Bermond 2002) (Carlson 85, Geor 95) : composition moyenne en électrolytes de la sueur chez le cheval.....	65

