

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>13</b>
<b>REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>15</b>
I. Le dromadaire au Maroc et dans le monde .....	16
1. Systématique et morphologie .....	16
2. Effectifs mondiaux et répartition .....	19
3. L'élevage du dromadaire .....	22
II. Rappel sur la physiologie du dromadaire en rapport avec son adaptation à la déshydratation .....	28
1. Limiter l'effet de la chaleur .....	28
2. Maintenir un équilibre hydrique .....	31
3. Déshydratation et lactation .....	38
4. Récapitulatif sur l'adaptation du dromadaire à la privation d'eau .....	39
III. Le métabolisme azoté, énergétique et minéral chez le dromadaire .....	40
1. Le métabolisme azoté .....	40
2. Le métabolisme énergétique .....	43
3. Electrolytes et minéraux .....	53
Conclusion de la partie bibliographique .....	53
<b>PROTOCOLE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>55</b>
I. Situation de l'étude et animaux utilisés .....	56
1. Objectifs et originalité de l'essai .....	56
2. Situation de l'étude .....	57
3. Animaux utilisés .....	58
II. Déroulement de l'essai .....	60
1. 3 phases successives .....	60
2. Besoins nutritionnels et rations quotidiennes .....	61
3. Abreuvement .....	62
III. Poids vif, mensurations de la bosse et conformation .....	63
1. Poids vif .....	63
2. Mensurations de la bosse .....	63

3. Conformation et état corporel .....	65
IV. Prélèvements sanguins et biopsies .....	67
1. Paramètres sanguins dosés .....	67
2. Biopsies .....	68
V. Présentation des résultats et analyse statistique .....	69
<b>RESULTATS .....</b>	<b>71</b>
I. Paramètres cliniques .....	72
1. Quantité d'aliments consommés .....	72
2. Quantité d'eau bue .....	72
3. Température rectale .....	73
4. Fréquences cardiaque et respiratoire .....	73
II. Effets de la déshydratation sur l'état corporel .....	74
1. Poids vif .....	74
2. Mensurations de la bosse .....	75
3. Poids et volume de la bosse .....	76
4. Conformation et état corporel .....	77
III. Effets de la déshydratation sur les paramètres sanguins .....	77
1. Hématocrite .....	77
2. Glycémie .....	78
3. Lipides .....	79
4. Corps cétoniques .....	80
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>83</b>
I. Méthodologie .....	84
1. Animaux .....	84
2. Mesures et prélèvements .....	85
II. Paramètres cliniques .....	86
1. Quantité d'aliments consommés .....	86
2. Quantité d'eau bue .....	87
3. Température rectale .....	87
4. Fréquences cardiaque et respiratoire .....	88

III. Effets de la déshydratation sur l'état corporel .....	88
1. Poids vif .....	88
2. Evolution de la bosse .....	89
3. Conformation et état corporel.....	89
IV. Effets de la déshydratation sur les paramètres sanguins .....	90
1. Hématocrite .....	90
2. Glycémie .....	91
3. Lipides .....	91
4. Corps cétoniques .....	92
5. Réduction des pertes hydriques et régulation métabolique .....	92
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>95</b>
LISTE DES REFERENCES .....	99
LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET ANNEXES .....	107
ANNEXES .....	..

## INTRODUCTION

Les régions du globe au climat semi-aride et aride sont généralement des zones pauvres en ressources, où la terre non arable permet seulement les activités d'élevage. La mise en valeur de ces zones à vocation pastorale est essentielle pour le maintien, la survie et le développement économique de certaines populations d'Afrique et d'Asie.

Le dromadaire est l'un des rares animaux domestiques adapté à l'environnement hostile des régions arides. Ses productions (lait, viande et poils) et son utilisation légendaire dans les transports caravaniers ont permis aux populations de ces zones de s'adapter aux rigueurs du climat et de vivre des maigres ressources que leur offre la terre. Ce rôle capital qu'occupe le dromadaire dans ces sociétés a longtemps été négligé par les décideurs politiques, les opérateurs économiques mais aussi les chercheurs tant des pays du Sud que ceux du Nord. Même si un regain d'intérêt se dessine depuis une vingtaine d'années pour les différents partenaires intéressés par la filière cameline, force est de constater qu'un retard considérable a été pris dans les connaissances sur cette espèce. Notre essai se situe au cœur de ce contexte socio-économique primordial et le dromadaire y sera étudié comme un animal de production à part entière.

Au Maroc, depuis 1971, le nombre de dromadaires a connu une forte baisse, surtout dans les années 80 suite à la sédentarisation des populations. En effet, les effectifs camélins sont passés de 160 000 têtes en 1971 à moins de 70 000 en 1986. Conscient du rôle socio-économique du dromadaire et de cet état de fait, le gouvernement marocain a entrepris une politique de développement de l'élevage camelin dans les provinces du Sud selon 3 grands axes :

- La reconstitution du cheptel camelin par la subvention et l'encouragement aux importations de reproducteurs et l'interdiction d'abattage des femelles.
- L'encadrement sanitaire, la subvention des aliments et la valorisation des productions et notamment le lait.

- L'encouragement à la recherche scientifique.

Pour envisager sérieusement et scientifiquement une amélioration de l'élevage camelin, il nous faut connaître la physiologie spécifique du dromadaire et donc étudier son incroyable capacité à résister à la privation d'eau. La résistance du dromadaire à la déshydratation a attiré l'attention de nombreux chercheurs. Cependant, les mécanismes biochimiques de cette adaptation ne sont pas vraiment élucidés.

Cet essai fait parti du PRAD (Projet de Recherche en Agronomie et Développement, numéro 01-04) commandé par le ministère de l'agriculture marocain et pour lequel, le CIRAD-EMVT (Centre International de Recherche en Agronomie et Développement, section Elevage et Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux, Montpellier) et l'IAV Hassan II (Institut Agronomique et Vétérinaire, Rabat, Maroc) coopèrent. Durant cet essai de déshydratation forcée, suivie d'une réhydratation, nous suivrons l'évolution de différents paramètres biochimiques sanguins en rapport avec le métabolisme énergétique, et notamment le métabolisme des lipides à travers des mesures répétées des concentration plasmatiques en triglycérides, acides gras libres, cholestérol, corps cétoniques et en glucose. Nous nous intéresserons aussi à l'évolution de l'état corporel des animaux grâce à des mesures répétées du poids, des mensurations de la bosse et à l'évaluation de la conformation des animaux.

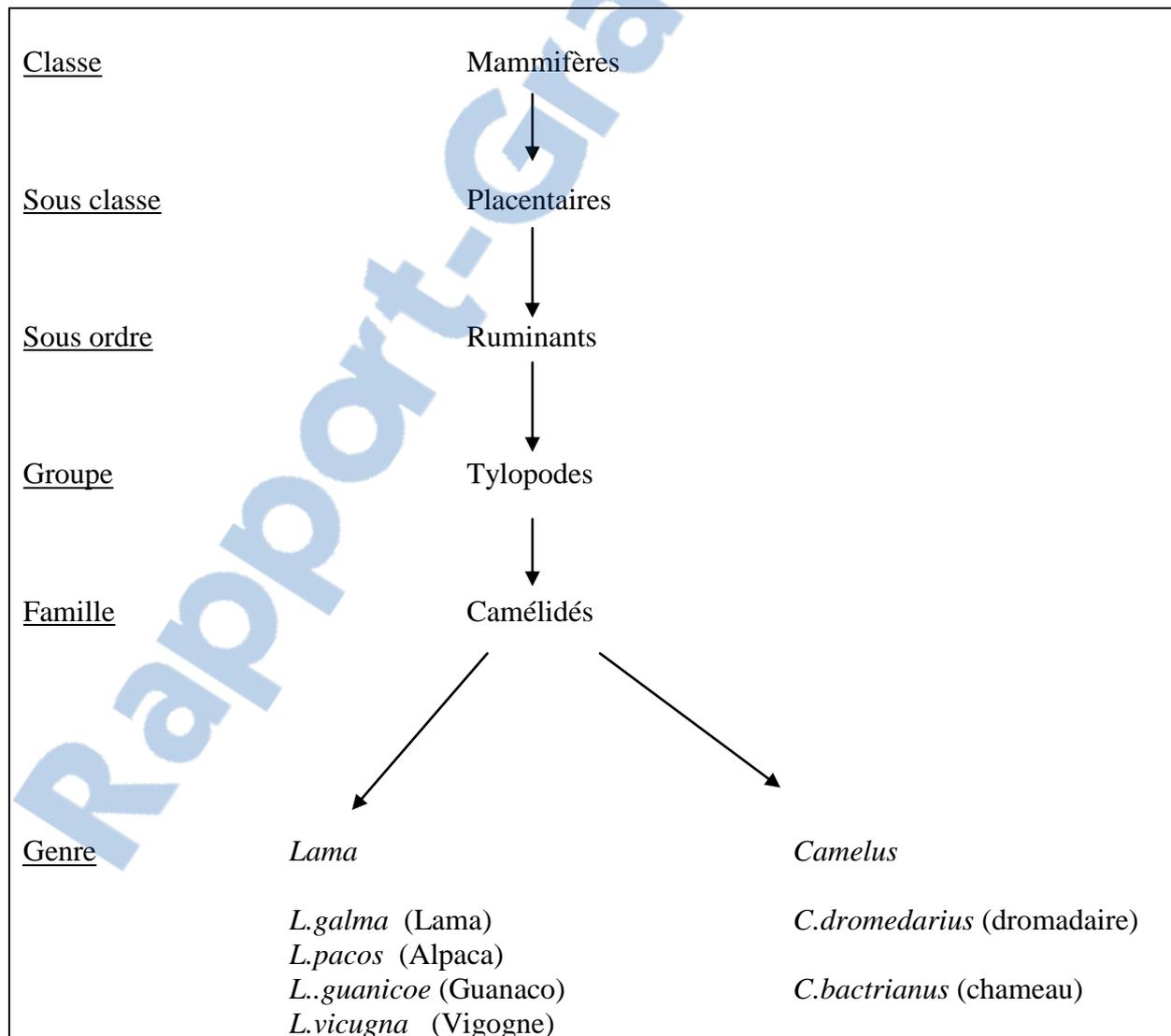
**REVUE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

# I. LE DROMADAIRE AU MAROC ET DANS LE MONDE

## 1. Systématique et morphologie

### 1.1 Classification générale

Le dromadaire, *Camelus dromedarius*, appartient à la famille des Camélidés qui comprend le genre *Lama* et le genre *Camelus* qui est divisé en deux espèces : *Camelus dromedarius* (dromadaire) et *Camelus bactrianus* (chameau de Bactriane). Le croisement de ces deux espèces produit des hybrides féconds.

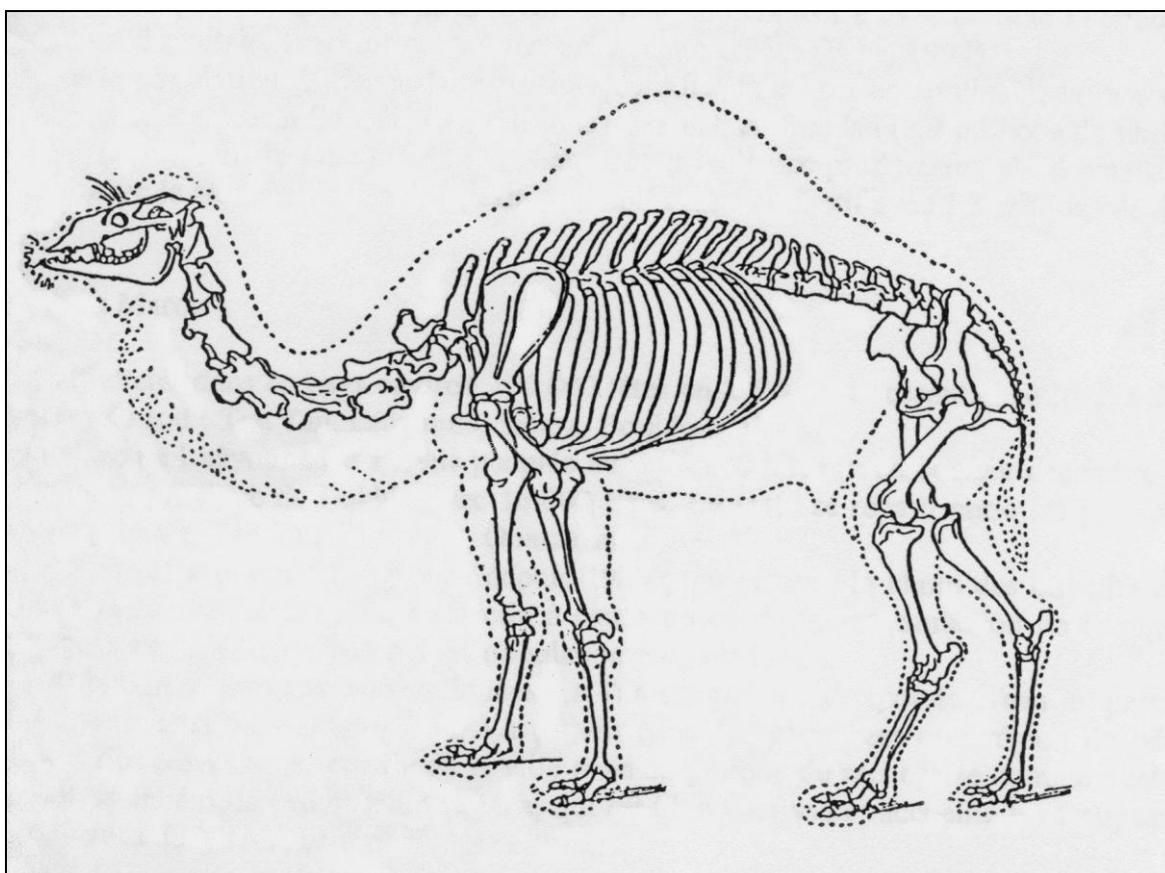


**Figure 1** : classification zoologique des camélidés et place du dromadaire

## 1.2 Morphologie externe

La morphologie générale du dromadaire est suffisamment particulière pour avoir depuis longtemps intrigué les anatomistes. Ces particularités anatomiques en font le plus grand animal adapté à la vie désertique. Le dromadaire est plus grand, plus élancé et plus longiligne que le chameau de Bactriane, il a le poil plus court et moins abondant que son cousin à 2 bosses. La taille au garrot est comprise entre 1,8 et 2,2 m et il peut mesurer plus de 2,4 m au sommet de la bosse. Il a de longues jambes qui isolent son corps du sol chauffé par le soleil et qui lui permettent de parcourir de longues distances à la recherche de nourriture et d'eau.

Son long cou lui permet de s'alimenter d'une végétation peu consommée par les autres ruminants (feuilles des arbres...). Sa tête maintenue à l'horizontale lui donne l'air hautain d'un être étrange monté sur un piedestal. Sa bosse, localisée sur son dos, est constituée uniquement de matière grasse et constitue une réserve d'énergie importante. Le dromadaire peut vivre plus de 30 ans mais l'usure de ses dents conditionne sa longévité réelle.



**Figure 2** : Rapport de la structure squelettique et corporelle d'un dromadaire adulte (Scaramella, 1989)

### 1.3 Particularités anatomiques

Les Camélidés se distinguent des ruminants domestiques par un certain nombre de spécificités :

- ◆ La dentition présente une paire d'incisives à la mâchoire supérieure, une paire de canine à chaque mâchoire, 3 prémolaires à la mâchoire supérieure et 2 seulement à la mâchoire inférieure.
- ◆ La bosse n'est qu'un tissu adipeux blanc, dont le volume est susceptible de varier en fonction de l'état nutritionnel de l'animal.
- ◆ La nature du pied est l'un des éléments qui distingue nettement le dromadaire des ruminants classiques. Il est dépourvu de sabot, ce qui le range dans la catégorie des digitigrades et non des onguligrades. Le dromadaire a un pied large et élastique, bien adapté à la marche sur des sols sableux. Cependant sa composition rend la progression dans les zones caillouteuses difficile et traumatisante.
- ◆ Les pré-estomacs présentent des différences dans leur morphologie et leur fonctionnement (Prat, 1993). Les Camélidés possèdent des sacs glandulaires accolés au rumen qui participent à la digestion du contenu ruminal. De plus l'omasum et l'abomasum sont difficilement discernables l'un de l'autre.
- ◆ Le foie est abondamment lobé et, à l'instar du cheval, il est dépourvu de glande biliaire.

### 1.4 Les types de dromadaires

Les dromadaires sont des animaux qui ont été peu sélectionnés par les hommes. Les différences portent sur la morphologie plus ou moins adaptée aux besoins des hommes (selon les objectifs de production). Par ailleurs, les noms des races attribués à des groupes d'animaux sont susceptibles de varier selon les populations et les ethnies qui se partagent une même zone. C'est dire qu'une grande confusion règne dans la nomenclature et la définition des races de dromadaire.

Nous distinguons 2 grands types de dromadaires selon leur habitat: le dromadaire des montagnes et le dromadaire des plaines. Le premier est trapu avec de courtes pattes, il est

robuste et est utilisé pour le travail et le bât. Le dromadaire des plaines est plutôt de grande taille, avec de longues jambes et le poil court, il était utilisé jadis pour le commerce caravanier et les razzias. Aujourd'hui il est monté dans les courses ou par les nomades du désert. Une synthèse des données bibliographiques permet d'inventorier 51 races principales (Faye, 1997).

Au Maroc, 3 races ont été décrites selon des critères phénotypiques et sur des performances zootechniques (production laitière, engraissement) :

◆ La race Guerzni caractérisée par sa robustesse, c'est un animal à toison abondante et de bonne conformation malgré sa petite taille. C'est un animal très résistant à la sécheresse et à la disette.

◆ La race Marmouri, de taille moyenne, sa robe est courte. Les femelles sont de bonnes productrices laitières. Cet animal serait moins résistant aux conditions extrêmes.

◆ La race Khouari est un type intermédiaire (Faye, 1997).

## **2. Effectifs mondiaux et répartition**

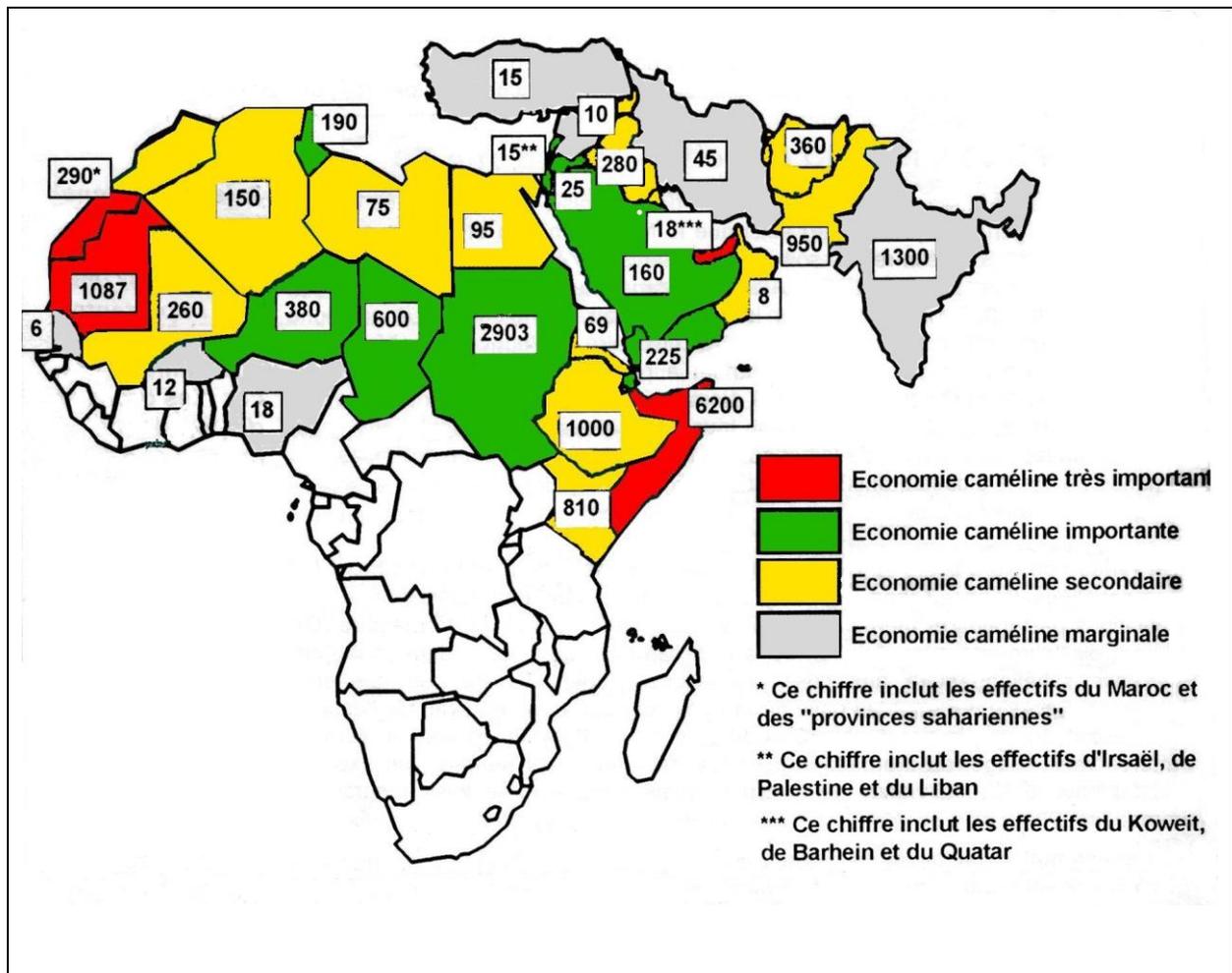
### **2.1 Le dromadaire dans le monde**

La domestication du dromadaire apparaît fort récente au regard des autres espèces actuellement domestiques. En effet, le dromadaire fut domestiqué par l'homme dans le sud de la péninsule arabique environ 2000 ans avant J-C à partir d'une population sauvage occupant les vallées arides de l'actuel Hadramaout (Epstein, 1971).

Il est très difficile de connaître avec exactitude la population cameline mondiale du fait de l'absence de vaccination obligatoire dans cette espèce, et de la nature des écosystèmes dans lesquels le dromadaire évolue. Selon une estimation de la FAO (Food and Agriculture Organization), l'effectif actuel serait de 20 millions de têtes (par comparaison, le cheptel mondial bovin est estimé à 1300 millions de têtes).

Le dromadaire est répertorié dans plus de 35 pays s'étendant du Sénégal à l'Inde et du Kenya à la Turquie. Le chameau de Bactriane n'est présent, quant à lui que dans une zone

étroite s'étendant de la Turquie à la Chine. 80% du cheptel de dromadaires est situé en Afrique, et l'essentiel de l'effectif est concentré dans 3 pays de la corne africaine (Somalie, Soudan et Ethiopie par ordre d'importance). La Somalie, avec ses 6 millions de dromadaires, possède près de 50% du cheptel africain. En Asie, l'Inde a le plus grand effectif avec 1,3 millions de têtes. En Australie, un troupeau sauvage de plusieurs centaines de milliers de têtes est recensé, ces dromadaires ont été implantés par l'homme, il y a plus de 2 siècles, pour traverser les grands espaces du désert australien. Devenus inutiles à l'époque de la motorisation, ils furent abandonnés mais au lieu de disparaître, ils se sont développés et sont redevenus sauvages : c'est le dromadaire féral d'Australie (Faye *et al.*, 2004).

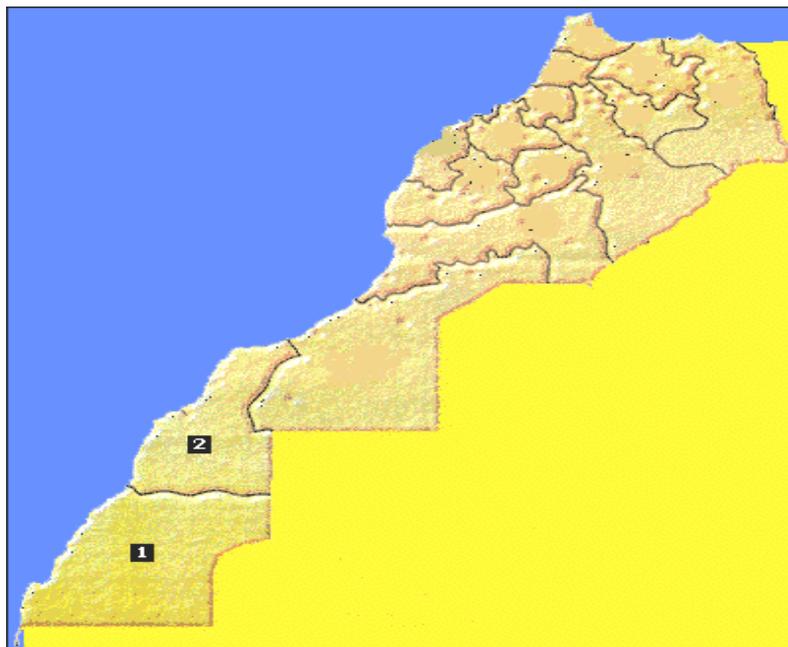


**Figure 3 :** Effectifs camélins (en milliers de têtes) dans les pays d'Afrique et d'Asie (Faye, 1997)

## 2.2 Le dromadaire au Maroc

L'effectif dans ce pays est estimé à 140 000 têtes (Recensement Général Agricole, 1996), le cheptel est concentré dans le sud du pays, dans les provinces Sahariennes : essentiellement Laâyoune et Dakhla (figure 4). La province de Laâyoune est la plus peuplée avec 78.000 têtes puis vient celle de Dakhla avec 20 000 têtes. Dans ces 2 provinces, l'élevage camelin représente une part importante de l'économie locale ; la viande de chamelon y est couramment consommée et de vrais élevages laitiers péri-urbains se sont mis en place. Le reste du cheptel se répartit entre les provinces de Boujdour, Smara, Tan Tan, Essaouira et Ouarzazate.

Depuis 1988, d'importants efforts ont été déployés pour enrayer la chute des effectifs et pour reconstruire le cheptel camelin. Ce déclin étant principalement dû au conflit pour l'annexion de la région saharienne (ex-Sahara espagnol) au Royaume du Maroc et à la sédentarisation des populations nomades. La distribution d'aliments subventionnés et l'aménagement de points d'eau ont permis de reconstituer en partie les troupeaux. La province de Laâyoune est une région de pâturage appréciée des éleveurs pour sa proximité de la ville. En période de sécheresse, la province de Dakhla, qui dispose d'un nombre important de puits, accueille la majorité des troupeaux.



**Figure 4 : Présence du dromadaire dans les provinces du Maroc (1 : Dakhla, 2 : Laâyoune.)**

### **3. L'élevage du dromadaire**

Le dromadaire est élevé pour son lait, sa viande et sa force de travail (bât, attelage, exhaure de l'eau...). Sa peau et sa laine sont utilisées mais sont de mauvaise qualité. Il existe 3 types d'élevage camelin : sédentaire, transhumant, nomade.

#### **3.1 Les systèmes d'élevage**

##### *◆ Les systèmes pastoraux extensifs*

L'élevage du dromadaire est presque uniquement extensif sur les parcours des déserts. Ce mode d'élevage est parfaitement adapté à la biologie d'une espèce, caractérisée par un cycle reproductif lent qui conduit à une faible productivité numérique du troupeau. Celle-ci est aggravée par la forte mortalité des jeunes durant leur première année de vie (Hussein, 1993). Les grands troupeaux (plusieurs centaines de têtes) ne sont pas rares et plusieurs bergers salariés gardent les sous troupeaux composés d'animaux de même stade physiologique : femelles gestantes, femelles allaitantes, jeunes et mâles. Ceci est une sécurité contre les risques de perte au moment de sécheresse ou de maladies contagieuses (Prat, 1993).

##### *◆ Vers une intensification de l'élevage en zones périurbaines*

Aujourd'hui dans plusieurs pays tels que la Tunisie, le Maroc et la Mauritanie, une prise de conscience a lieu sur l'impact social et économique que pourrait avoir l'élevage camelin dans des régions où seul ce camélidé permet de maintenir une activité humaine. En effet, une légère intensification de cet élevage qui s'appuie essentiellement sur une alimentation adaptée, un minimum de soins vétérinaires et quelques techniques facilement adaptables en milieu pastoral telles que la séparation précoce du chamelon, permet d'augmenter significativement la productivité numérique et les productions (Faye et al., 2004). Il est reconnu que la productivité laitière de la chamelle est supérieure à celle de la vache dans les mêmes conditions d'élevage (Schwartz, 1992).

### ◆ *L'élevage camelin au Maroc*

Au Maroc, l'élevage transhumant est le plus répandu : les éleveurs propriétaires habitent en ville et emploient des bergers qui gardent et conduisent les troupeaux. L'élevage sédentaire se développe aux alentours des villes (Laâyoune, Dakhla) de la partie saharienne où quelques élevages spécifiquement laitiers approvisionnent la population urbaine très demandeuse de lait de chamelle (Faye et al., 1998).

## **3.2 Les productions**

### ◆ *Production laitière*

La durée de la lactation varie entre 8 et 18 mois et semble sous la dépendance de quelques pratiques, notamment les fréquences de traite ou de tétée (Faye *et al.*, 2004). La production laitière moyenne d'une chamelle au cours d'une année est de l'ordre de 2500 litres, et la courbe de lactation de la chamelle laitière est comparable à celle de la vache laitière. Le pic de lactation survient vers 2-3 mois après la mise-bas. Dans des conditions optimales d'élevage, il est possible d'obtenir des moyennes de production comprises entre 3000 et 8000 kg de lait et des valeurs quotidiennes de l'ordre de 20 litres. A l'échelle mondiale, l'effectif des femelles en lactation est estimé à plus de 3 millions de têtes, ce qui représente une production laitière globale de 7,5 millions de tonnes dont 55% environ sont prélevés par les chamelons (Faye et al., 2001).

L'essentiel du lait de chamelle est consommé cru par les membres de la famille. Dans les élevages périurbains traditionnels, le lait commercialisé est souvent un lait frais rapidement consommé. Pourtant face à la demande croissante, les procédés de conservation se développent avec la commercialisation d'un lait pasteurisé et emballé, et avec la transformation en fromage. Le succès grandissant de laiteries en périphéries urbaines (dont la plus célèbre est celle de Nouakchott en Mauritanie) atteste de ce nouvel intérêt pour le lait de chamelle.

### ◆ *Production de viande*

La consommation de viande cameline n'est encore que peu développée dans les populations pastorales. Au-delà de la prééminence affective et symbolique pour l'espèce, la raison essentielle est qu'il est plus facile d'abattre un mouton ou une chèvre pour l'autoconsommation qu'un dromadaire. Les animaux abattus sont à 70% des adultes condamnés à la réforme. En Afrique, la production totale de viande cameline est estimée à 250 000 tonnes par an. Des pays, dont la Tunisie est le chef de file, font de gros efforts pour développer cette filière cameline. En effet l'autorisation de l'abattage des jeunes et des aides aux éleveurs ont permis au dromadaire de devenir la première viande abattue dans certaines localités du sud tunisien (Abattoir de Bengardane, 1996).

### ◆ *Autres productions*

Le dromadaire est très souvent utilisé comme animal de bât, il peut en effet supporter des charges allant de 100 à 650 kg suivant sa conformation et son entraînement.

En Afrique du Nord, mais surtout au Pakistan et en Inde, il est très utilisé comme animal de traction et il est incontestable que son utilisation massive représente un puissant levier de développement agricole dans une perspective durable.

L'utilisation du dromadaire comme animal de selle date des grands déplacements caravaniers accompagnant le transport des marchandises. Aujourd'hui la course de dromadaires est une activité institutionnalisée dans les pays du Golfe où les recherches scientifiques (sélection des géniteurs, inséminations artificielles, recherche de pointe sur la physiologie de l'effort...) accompagnent les performances sportives (vitesse moyenne supérieure à 35 km/h lors des courses organisées dans de véritables "camélodromes"). Récemment le concept du "dromadaire touristique" s'est développé dans de nombreux pays d'Afrique du Nord et en Australie ; en effet des agences en contact avec les éleveurs proposent aux visiteurs des méharées dans le désert.

### 3.3 Les difficultés de développement de l'élevage camelin

#### ◆ *La reproduction*

Le dromadaire est considéré comme un animal se reproduisant lentement, ses performances de reproduction ne permettent pas au propriétaire du troupeau de s'assurer un revenu économique basé sur la vente des produits. Le troupeau représente une "assurance" pour maintenir un capital investi. Les premières mises-bas ont lieu tardivement (4-5 ans), la gestation est longue (supérieure à 1 an) et l'intervalle entre mises-bas est important (souvent supérieur à 2 ans).

Age de la puberté	2 à 4 ans
Age de la première mise-bas	3,5 à 7 ans
Durée de la gestation	370 à 390 jours
Intervalle entre 2 mises-bas	15 à 36 mois
Nombre de naissances par carrière	3 à 7
Durée de la carrière de reproduction	10 à 15 ans
Taux de fécondité annuel d'un troupeau extensif	30-35%

**Tableau 1** : les paramètres de la reproduction chez le dromadaire (Faye, 1997)

#### ◆ *La mortalité des chameçons*

La mortalité chez le jeune est considérable dans les conditions d'élevage extensif, bien que son évaluation soit difficile, étant donné le peu d'informations issues d'un suivi régulier des troupeaux. La survie du jeune pose problème avant même la parturition, en effet le taux de mortalité embryonnaire précoce chez le dromadaire serait important, et les avortements dus à la trypanosomiase sont très communs en zone endémique. En règle générale, plus de 80% des cas de mortalité surviennent avant l'âge de 6 mois. Des taux de mortalité de 30 à 50% sont relevés dans des conditions d'élevage extensif en Afrique de l'Est,

au Maroc et en Inde (Faye, 1997). Les causes de cette mortalité sont multiples : troubles digestifs, troubles respiratoires, parasitismes, sous-nutrition.

Cependant le syndrome de diarrhée du chamelon reste le problème majeur à endiguer, il est signalé dans toutes les zones où le dromadaire est élevé et serait responsable de 2/3 des mortalités des jeunes de moins d'un an au Niger. Aucun agent étiologique précis ou unique n'a été isolé ; plusieurs agents pathogènes seraient concernés, en interaction avec des facteurs tels que le taux d'infestation parasitaire et le statut nutritionnel des animaux.

#### ◆ *Les principales maladies affectant le troupeau*

L'élevage camelin étant essentiellement un élevage extensif, le suivi sanitaire n'en est que plus difficile. Cependant, dans une perspective d'intensification raisonnée de cet élevage, comme par exemple pour les élevages laitiers périurbains, il apparaît impératif de contrôler certaines maladies.

- La trypanosomiase Fig. 5)

Parmi les maladies parasitaires, la trypanosomose est considérée comme la plus sévère et la plus répandue des maladies touchant l'élevage camelin. L'agent étiologique *Trypanosoma evansi* se transmet dans le troupeau grâce aux piqûres de vecteurs hématophages. Le dromadaire atteint se caractérise par sa maigreur, une anémie importante et une chute de toutes les productions (Faye, 1997).



**Figure 5** : Dromadaire infecté par *Trypanosoma evansi*

#### - Les endoparasitoses

Les endoparasitoses, par leur fréquence et par leur gravité, constituent aussi un frein important au développement de l'élevage camelin. Ainsi l'haemonchose due à *Haemonchus longistipes* représente une des principales causes de morbidité et de mortalité chez le dromadaire. L'animal infesté présente une anémie marquée, une diarrhée profuse et dans les cas les plus sévères, une cachexie et des oedèmes.

Les myiases des cavités nasales et pharyngienne dues à *Cephalopina titillator* peuvent infester jusqu'à 70% du troupeau mais elles sont le plus souvent asymptomatiques (Faye, 1997).

#### - Les ectoparasitoses

Le dromadaire est aussi fréquemment atteint par des ectoparasites. La gale sarcoptique due à *Sarcoptes scabiei*, est l'une des pathologies les plus répandues et les plus redoutées par les éleveurs. Elle se caractérise par un prurit violent et une atteinte totale du corps dans un délai d'un mois. Si aucun traitement n'est mis en place, l'animal jeune sévèrement touché finit par succomber.

#### - La variole

Elle est due à *Orthopoxvirus cameli*, c'est une maladie redoutée des éleveurs par son impact économique sur les troupeaux. Elle est caractérisée par l'apparition de croûtes sur le museau, la bouche et autour des yeux. La mortalité, de 5,5%, touche uniquement les animaux âgés de moins de 6 ans (Faye, 1997).

## **II. RAPPEL SUR LA PHYSIOLOGIE DU DROMADAIRE EN RELATION AVEC SON ADAPTATION A LA DESHYDRATATION**

Le dromadaire a une physiologie entièrement tournée vers l'anticipation des périodes de pénuries alimentaires et hydriques. Les mécanismes d'adaptation à la déshydratation sont complexes et mettent en jeu un ensemble très large de paramètres qui donnent, une fois réunis, ces capacités uniques parmi les espèces domestiques (Bengoumi *et al.*, 2002).

Cette résistance à la déshydratation est l'un des aspects les plus étudiés chez le dromadaire (essentiellement Schmidt-Nielsen *et al.*, 1956 et 1957 ; Yagil, 1985 ; Wilson, 1989). La plupart des mammifères vivant dans les zones désertiques se dérobent de l'effet de la chaleur et de la sécheresse en s'enfouissant dans le sol pendant les heures chaudes, limitant ainsi les déperditions d'eau et accédant à une relative fraîcheur. Il est évident qu'un animal de la taille du dromadaire ne saurait satisfaire à une telle exigence (Faye, 1997). Aussi au cours de l'évolution, cet animal a développé des mécanismes physiologiques qui en font un remarquable modèle biologique adapté aux conditions imposées par les écosystèmes arides.

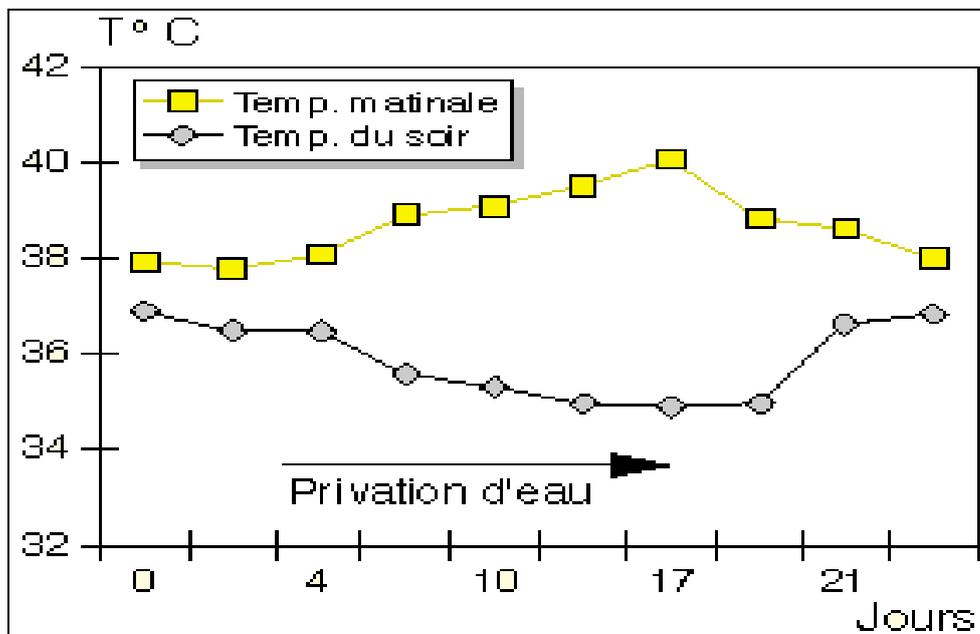
### **1. Limiter l'effet de la chaleur**

#### **1.1 La bosse : une adaptation anatomique**

Contrairement à une légende tenace, la bosse du dromadaire n'est absolument pas une réserve d'eau, mais bien une réserve d'énergie. En effet, près de la moitié du gras total de l'animal est localisé au niveau de sa bosse. Cette particularité anatomique joue un rôle important dans la thermorégulation car la concentration des réserves adipeuses au même endroit aboutit à la quasi inexistence de gras sous la peau et donc facilite la dissipation cutanée de la chaleur, et par-là même l'économie d'eau corporelle.

## 1.2 Une thermorégulation active

La température corporelle d'un dromadaire normalement hydraté est stable, elle se situe entre 36 et 38°C. Par contre, elle varie énormément chez le dromadaire déshydraté selon la température ambiante, ainsi nous pouvons considérer qu'à l'instar des mammifères passant une partie de leur vie en hibernation, le dromadaire n'est pas un homéotherme strict : lorsque la température externe augmente, le dromadaire accumule de la chaleur et peut augmenter sa température corporelle jusqu'à une valeur maximale de 42°C ce qui lui permet de diminuer l'écart de température avec le milieu ambiant et de limiter le gain de chaleur (Schmidt-Nielsen *et al.*, 1957). A l'inverse, lorsque le milieu externe se refroidit (la nuit par exemple), le dromadaire déshydraté réduit sa température corporelle jusqu'à une valeur minimale pouvant atteindre 34°C, ainsi il réduit l'écart de température avec son milieu et limite donc l'augmentation du métabolisme de base (Schmidt-Nielsen *et al.*, 1957). Le dromadaire déshydraté augmente sa variation quotidienne de température corporelle en fonction de l'avancement de son état de déshydratation (figure 6). De tels écarts de température corporelle dans une même journée sont mortels chez la plupart des mammifères. Il a aussi été observé qu'une augmentation de 6°C dans la même journée chez un dromadaire pesant environ 600 kg lui permettrait d'économiser 5 litres d'eau par jour (Yagil, 1985).



**Figure 6** : Evolution de la température corporelle lors d'une épreuve de déshydratation suivie d'une réhydratation à J19 (Bengoumi *et al.*, 2002)

### **1.3 Diminution du métabolisme basal**

Chez la plupart des animaux, l'augmentation de la température externe conduit à l'augmentation du métabolisme général par effet de débordement des mécanismes classiques de maintien de la température interne. A ce niveau, la glande thyroïde joue un rôle primordial puisque l'activation du métabolisme général est sous sa dépendance (Yagil *et al*, 1978). L'activité thyroïdienne augmentant avec la chaleur externe, la production de chaleur métabolique augmente, la fréquence respiratoire s'accélère entretenant un cercle vicieux jusqu'à la situation bien connue du "coup de chaleur" parfois mortel.

A l'inverse pour le dromadaire, l'augmentation de la température externe s'accompagne d'une diminution de la consommation d'oxygène et de la fréquence respiratoire qui indique une diminution générale du métabolisme. La fréquence respiratoire d'un dromadaire hydraté au repos est de l'ordre de 6 à 9 cycles par minute, mais elle peut varier de 6 à 18 cycles par minute (Schmidt-Nielsen, 1956). L'évaporation pulmonaire n'étant qu'une voie mineure de dissipation de la chaleur, le dromadaire déshydraté diminue donc sa fréquence respiratoire avec augmentation de la pression partielle du CO<sub>2</sub> dans le sang et diminution de celle de l'oxygène, ainsi il peut maintenir un métabolisme basal très bas, même si sa température corporelle augmente (Yagil, 1985). Cette diminution du métabolisme de base est confirmée par la diminution de la concentration des hormones thyroïdiennes circulantes attestant de l'hypothyroïdisme (Bengoumi, 1992 et Yagil, 1978).

### **1.4 Qualité de la robe du dromadaire et spécificité comportementale**

Elle joue un rôle non négligeable, par sa couleur et par sa texture. Chez la plupart des races de dromadaire, la couleur de la robe varie entre le blanc et le fauve. Ces couleurs reflètent mieux les rayons du soleil que les pelages foncés. La peau est recouverte d'une épaisse toison en hiver, qui tombe d'elle même en été. Cette toison de laine constitue un excellent isolant qui crée un gradient de température de la surface de la peau à l'extrémité des fibres de laine, réduisant ainsi les pertes hydriques cutanées (Faye, 1997).

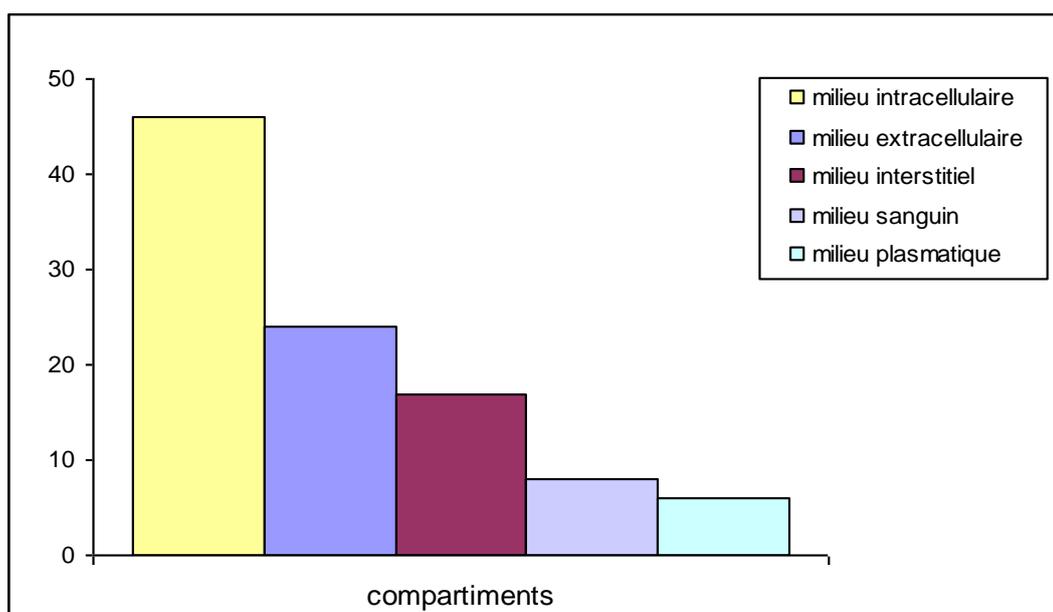
L'observation de troupeau de dromadaires révèle que les dromadaires, au repos, restent toujours face au soleil, ainsi ils limitent l'impact des rayons solaires puisqu'ils n'exposent qu'une faible partie de leurs corps.

## 2. Maintenir un équilibre hydrique

### 2.1 Teneur et répartition de l'eau dans l'organisme

#### ◆ Généralités

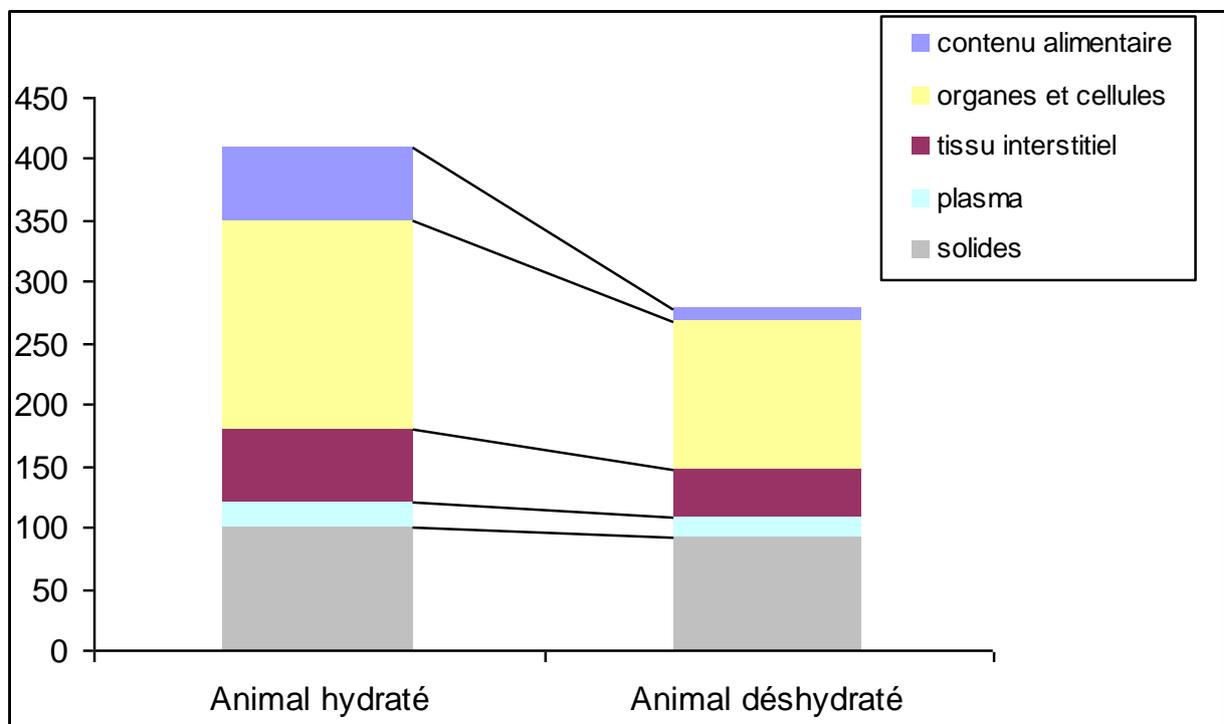
L'eau est le principal constituant de l'organisme ; elle représente environ 60% du poids corporel chez la plupart des mammifères domestiques. Chez le dromadaire, ce taux varie de 58 à 75%, ce pourcentage dépend de l'état d'engraissement et d'hydratation de l'animal (Macfarlane *et al*, 1963). Il varie également selon la saison avec des valeurs plus élevées en saison sèche qu'en saison humide. La capacité du dromadaire à accumuler de grandes quantités d'eau en saison sèche, où les pertes hydriques sont importantes et les apports faibles, est en relation avec son adaptation à la déshydratation (Ghosal *et al*, 1974). La répartition de l'eau dans les différents secteurs, exprimée en pourcentage du poids corporel, est similaire à celle des autres ruminants domestiques (Figure 7, Bengoumi *et al.*, 2002).



**Figure 7 :** Répartition de l'eau corporelle du dromadaire (%) dans l'organisme

### ◆ Effets de la déshydratation

L'une des caractéristiques remarquables du dromadaire est sa capacité à résister à une déshydratation qui peut atteindre plus de 30% de son poids corporel sans mettre sa vie en danger, cela correspond à une perte d'environ 50% de son capital hydrique. A titre comparatif, la plupart des animaux domestiques ne peuvent survivre à des pertes hydriques dépassant 12 à 15% de leur poids corporel (Yagil, 1985). La privation d'eau entraîne des pertes hydriques 3 fois plus élevées chez le bovin que chez le dromadaire ; celles-ci sont de 6% du poids par jour chez le bovin et de 2% du poids par jour chez le dromadaire (Siebert et Macfarlane, 1975). Ces pertes sont réparties de manière inégale entre les différents secteurs hydriques (Figure 8), tous les compartiments perdent de l'eau mais le milieu intracellulaire et les organes (notamment les cavités digestives) sont les plus touchés par la déshydratation (Macfarlane *et al.*, 1963). A contrario, en pourcentage de poids corporel, le secteur plasmatique augmente. En effet, lors de la déshydratation, il y a transfert d'eau du milieu intracellulaire, interstitiel, et des cavités digestives vers le plasma (Siebert et Macfarlane, 1975).



**Figure 8 :** Composition corporelle (en kg) du dromadaire hydraté et déshydraté après 9 jours de privation d'eau (Faye, 1997)

## 2.2 Approvisionnement en eau et déshydratation

### ◆ *Régulation de l'ingestion hydrique*

La quantité d'eau consommée par le dromadaire rapportée à son poids ne diffère pas de celle des autres ruminants domestiques (Gautier-Pilters *et al.*, 1979). L'aptitude de cette espèce à vivre de longues périodes sans abreuvement varie en fonction de plusieurs facteurs : notamment la race, la qualité de son alimentation (plus ou moins riche en matière sèche), la température externe, son stade physiologique (lactation par exemple), son activité physique et son état de déshydratation antérieur (Dorman, 1984). En saison fraîche, avec une alimentation riche en fourrages verts, le dromadaire se suffit de la quantité d'eau présente dans la ration et peut dès lors se passer de boire pendant un mois. En saison chaude, avec une alimentation plus sèche, un abreuvement hebdomadaire est nécessaire (Cole, 1975).

Outre sa résistance à la privation d'eau, le dromadaire est doté d'une remarquable capacité de réhydratation par l'ingestion rapide d'une grande quantité d'eau. Des ingestions spectaculaires sont citées dans la littérature, elles peuvent dépasser les 100 litres d'eau bues en à peine 5 minutes après 10 jours de déshydratation, ainsi le dromadaire récupère en très peu de temps l'équivalent des pertes hydriques accumulées durant la privation d'eau. Suite à la réhydratation, le retour à l'état cellulaire et métabolique antérieure à la privation d'eau est très rapide, de l'ordre de 4 heures pour les cellules sanguines et les fonctions rénales (Faye, 1997). Une telle absorption rapide d'eau après déshydratation entraîne une hypotonie plasmatique susceptible de provoquer une hémolyse, souvent mortelle chez les animaux domestiques. Les hématies du dromadaire sont particulièrement résistantes aux variations de l'osmolarité : elles résistent à des teneurs en NaCl allant de 0,2 à 2,0%. En comparaison, les hématies des autres espèces domestiques sont hémolysées à des concentrations en NaCl inférieures à 0,5% (Yagil, 1974). Le secret de cette propriété exceptionnelle des globules rouges du dromadaire tient probablement dans les particularités biochimiques de la paroi de ces cellules sanguines, il existerait une différence notable dans la composition lipidique des membranes érythrocytaires du dromadaire comparée à celle des autres ruminants (Al-Qarawi et Mousa, 2004).

### ◆ *L'eau métabolique*

Elle provient de l'oxydation cellulaire. Selon Schmidt et Nielsen (1964), la quantité d'eau produite dépend de la nature des nutriments ; elle se fait dans les proportions suivantes :

1 g de lipides       $\longrightarrow$       1,071 g d'eau

1 g de glucides       $\longrightarrow$       0,556 g d'eau

1 g de protéines       $\longrightarrow$       0,396 g d'eau

La croyance populaire a longtemps considéré la bosse du dromadaire comme une réserve d'eau endogène mobilisable lors de la déshydratation. Cette présomption découle du fait que la bosse est constituée principalement de lipides et que l'oxydation de ces derniers apporte plus d'eau que les autres nutriments. Des observations ont montré que les lipides de la bosse ne seraient pas mobilisés lors de la déshydratation (Yagil, 1985 ; Bengoumi, 1992). L'oxydation d'un gramme de lipides aboutit certes à la production de 1,071 g d'eau, mais elle nécessite beaucoup d'oxygène, ce qui entraîne la perte d'environ 1,7 g d'eau par évaporation pulmonaire (Chilliard, 1989). De plus cette oxydation importante de lipides ne serait pas compatible avec une diminution du métabolisme de base observée chez le dromadaire déshydraté (Yagil, 1985).

### **2.3 Rôle du tube digestif comme réservoir d'eau**

Les réservoirs gastriques du dromadaire diffèrent de ceux des autres ruminants domestiques. Le rumen du dromadaire a la particularité de posséder des sacs aquifères dont le volume total n'excède pas 4 litres. Ainsi, par leurs faibles volumes, ces sacs n'ont aucun rôle spécifique de réservoir hydrique (Schmidt-Nielsen K, 1964).

Cependant, le tube digestif du dromadaire qui, comme celui des autres ruminants, contient environ 20% du poids corporel en eau, constitue une réserve d'eau mobilisable lors de la déshydratation (Macfarlane, 1964).

Par ailleurs, chez un dromadaire hydraté, les glandes parotides libèrent environ 2 litres de salive par jour et par glande. Cette production de salive est fortement influencée par la privation d'eau ; elle chute à 0,6 litres par jour chez le dromadaire déshydraté (Macfarlane, 1974). Notons que la salive de dromadaire est riche en urée, qui par son action hydrophile attire plus d'eau vers les glandes salivaires (Yagil, 1985).

## **2.4 Renouvellement de l'eau corporelle : le turnover hydrique**

Le turnover hydrique correspond au volume d'eau renouvelé toutes les 24 heures. Il est en relation linéaire avec le poids corporel. Les bovins ont un turnover hydrique rapporté au poids corporel 2 à 3 fois plus élevé que les autres ruminants (Siebert BD, 1971) ; c'est d'ailleurs l'une des principales raisons qui limite leur résistance à la déshydratation. Chez le dromadaire, le turnover hydrique double en été et il atteint sa valeur maximale chez les femelles en lactation (Siebert et Macfarlane, 1971). Les taux enregistrés chez le dromadaire (entre 40 et 70 ml/kg/jour) sont les plus bas parmi les ruminants, à titre de comparaison les ovins perdent en moyenne une quantité d'eau équivalente à 100 ml/kg/jour.

Lors d'une déshydratation, une chute de près de 80% du turnover hydrique est observée chez le dromadaire, cette diminution est due à la réduction du métabolisme de base consécutive à un hypothyroïdisme (Yagil, 1978) et à la diminution des pertes rénales et fécales (Yagil, 1985). Cette diminution du turnover hydrique explique en partie la résistance à la privation d'eau de cet animal.

## 2.5 Limiter les pertes hydriques

### ◆ *Les pertes urinaires*

L'organe central de la régulation hydrique est le rein. C'est en effet à son niveau que se situe l'essentiel de l'activité de réabsorption de l'eau en limitant au maximum l'excrétion urinaire.

Le dromadaire est connu pour l'émission d'une urine très concentrée. Le volume urinaire du dromadaire diminue fortement en cas de privation d'eau prolongée, des valeurs allant de 2,9 à 8,6 litres d'urine par jour chez des dromadaires hydratés et de 0,7 à 1,7 litres par jour chez les mêmes animaux déshydratés ont été rapportés en Australie (Siebert et Macfarlane, 1971). En moyenne, le dromadaire déshydraté excrète 0,07 l /100 kg de poids vif soit des valeurs nettement inférieures à celles des autres ruminants, à titre comparatif, dans les mêmes conditions, la chèvre excrète en moyenne 0,4 à 0,6 l /100 kg de poids vif (Wilson, 1989). L'aptitude du dromadaire à concentrer son urine est en partie due à la structure de ses néphrons qui sont munis de longues anses de Henlé à l'instar des autres mammifères désertiques.

L'animal déshydraté diminue la réabsorption rénale du sodium et augmente son excrétion sodique de plus de 40%. Ce mécanisme est sous la dépendance de l'aldostérone (elle même dépendante de l'activité de la rénine) qui, du fait de la baisse d'activité de la glande thyroïde lors de la déshydratation diminue son action de réabsorption sodique.

Cette capacité à éliminer une urine très concentrée contribue à expliquer la grande tolérance du dromadaire au sel et sa capacité à s'abreuver en eau saumâtre. Ce mécanisme de réabsorption rénal joue un grand rôle dans la diminution du Turnover hydrique.

### ◆ *Les pertes fécales*

Les animaux normalement hydratés excrètent des quantités considérables d'eau avec les fèces. Les pertes fécales, exprimées en grammes d'eau pour 100 g de matières fécales, varient selon le type d'aliments et leur digestibilité (Wilson, 1989).

Tous les animaux domestiques sont capables de réabsorber une grande proportion du contenu hydrique gastro-intestinal lorsqu'ils sont déshydratés. Cette réabsorption s'achève dans le colon par une absorption du sodium suivie de celle de l'eau (Maloiy *et al.*, 1978). Chez la plupart des ruminants, les pertes hydriques fécales ne représentent qu'une faible proportion des pertes hydriques totales. Parmi les ruminants domestiques, le dromadaire excrète les fèces les plus sèches. En effet, le pourcentage de matière sèche des excréments de dromadaire est de l'ordre de 50%, contre 30% pour les petits ruminants et 15% pour les bovins. Une déshydratation de 15% entraîne une diminution de la teneur en eau des fèces de l'ordre de 14% (Siebert et Macfarlane, 1975). Le dromadaire perdrait 7 fois moins d'eau par voie fécale que les bovins (Faye, 1997).

#### ◆ *Rôle du système respiratoire*

Le système respiratoire du dromadaire se distingue par la présence d'une cavité nasale ample et de sinus subdivisés en de nombreuses circonvolutions. Le dromadaire présente en particulier un sac sinusal aveugle latéral qui n'est observé chez aucune autre espèce. Une telle anatomie permet au dromadaire de récupérer une part importante d'eau au moment de l'expiration par les voies nasales. Celles-ci sont par ailleurs reliées à l'extérieur par des naseaux pouvant se fermer complètement, évitant ainsi un assèchement de la muqueuse nasale; cela permet le maintien d'une atmosphère humide dans les voies respiratoires supérieures propices à limiter les pertes hydriques.

#### ◆ *Diminution de l'évaporation cutanée*

Contrairement à la plupart des autres ruminants, le dromadaire possède une sudation continue. Le mode de sudation influence fortement les pertes hydriques cutanées. Le dromadaire présente un faible écoulement sudoral et une légère humidification du pelage (Wilson, 1989). La quantité de sueur produite est faible (1,1 l/100 kg de poids vif) alors que dans les mêmes conditions, l'âne produit 4,7 l/100 kg de poids vif (Yagil, 1979). Chez le dromadaire, la vitesse d'évaporation augmente linéairement quand la température ambiante dépasse 35°C (Banerjee S *et al.*, 1963).

Lors d'une déshydratation de 20 à 25%, le dromadaire déshydraté diminue sa sudation de plus de 50% (Schmidt-Nielsen, 1956). Cela serait possible en partie grâce à des modifications structurales profondes des glandes sudoripares (diminution du nombre de granules sécrétoires des cellules glandulaires). La baisse de la sudation serait sous la dépendance de l'hormone antidiurétique (ADH) et la diminution de la circulation périphérique, liée à l'hypovolémie, accentuerait l'action hormonale.

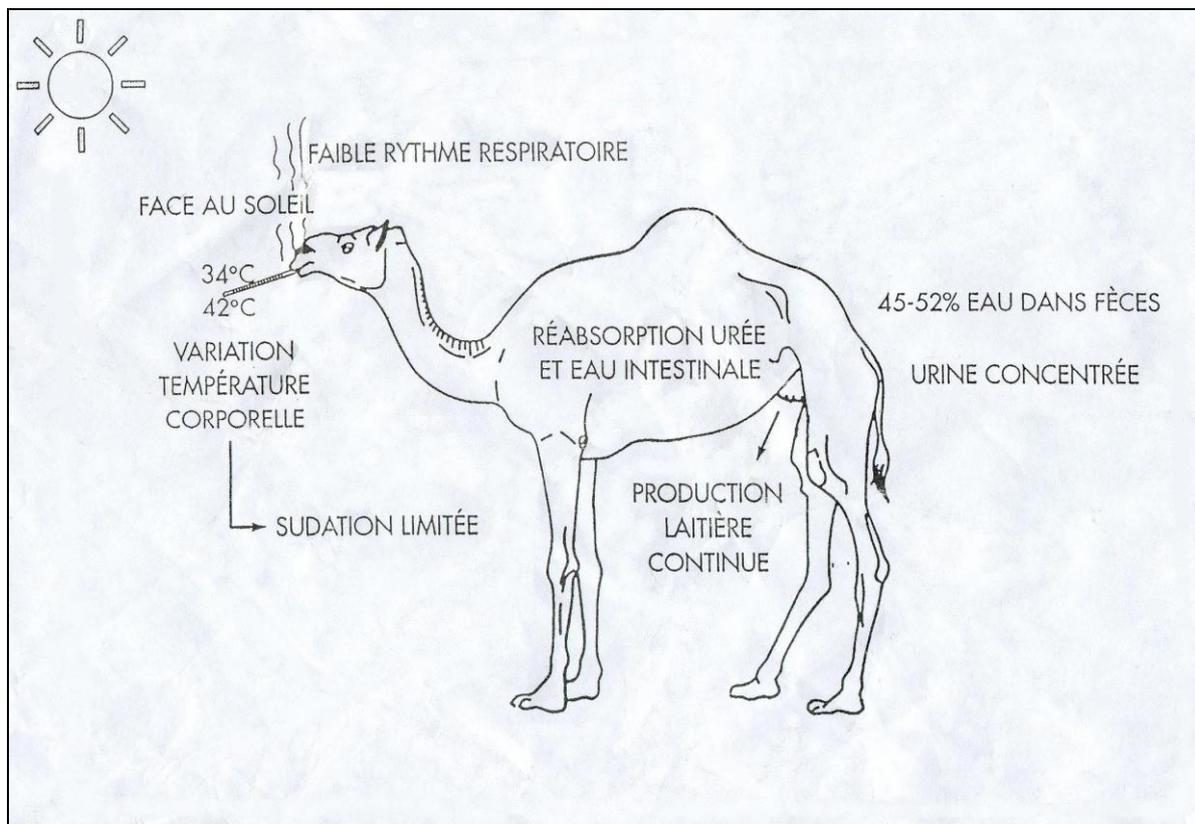
### **3. Déshydratation et lactation**

La production laitière et la composition du lait varient en fonction de plusieurs facteurs notamment la race, l'alimentation, la saison et le stade de lactation. On estime à 2500 litres la quantité de lait produite durant une lactation, mais selon les facteurs précédemment cités, cette quantité peut varier de 650 litres à plus de 8 000 litres pour une lactation dont la durée varie entre 10 et 18 mois.

Le lait de la chamelle contient plus d'eau, des teneurs plus élevées en protéines et acide ascorbique ainsi qu'une teneur en matière grasse plus faible que celui de la vache (Wilson, 1989). Lors de la privation d'eau, la vache laitière a tendance à diminuer fortement sa production laitière ; la diète hydrique constitue d'ailleurs une méthode de tarissement efficace chez la vache haute productrice. La privation d'eau (réalisée durant 10 jours sur 4 chammes en lactation) n'aurait aucun effet sur la quantité de lait produite, mais la composition du lait serait fortement modifié (Yagil, 1980). Les teneurs en eau, en sodium et en potassium sont augmentées, alors que celles du lactose, des lipides, des protéines, du calcium, du magnésium et des phosphates sont diminuées. Cette dilution du lait permet à la chamelle déshydratée d'assurer, en dépit des conditions extrêmes, la survie du chamelon. La privation d'eau de la mère n'a donc aucun effet sur le chamelon privé d'eau mais allaité normalement (Yagil, 1980).

#### 4. Déshydratation et adaptation du dromadaire

Le schéma ci-dessous (figure 10) récapitule les moyens comportementaux et surtout physiologiques mis en œuvre par le dromadaire pour se soustraire aux effets de la chaleur et de la privation d'eau.



**Figure 10 :** Moyens mis en œuvre par le dromadaire pour résister à la privation d'eau (Bonnet, 1998).

### **III. METABOLISME AZOTE, ENERGETIQUE ET MINERAL CHEZ LE DROMADAIRE**

#### **1. Le métabolisme azoté**

##### **1.1 Généralités**

Comme tous les ruminants, le dromadaire peut synthétiser des protéines à partir de l'azote non protéique. Cette particularité est liée à la présence dans le rumen de micro-organismes capables de dégrader les composés azotés en ammoniac. Celui-ci est incorporé dans des chaînes carbonées pour la synthèse d'acides aminés et par la suite de protéines bactériennes. Ces dernières sont hydrolysées, dans la caillette et l'intestin, en acides aminés qui, après leur absorption, seront utilisés pour la synthèse de nouvelles protéines. Chez les mammifères, l'hydrolyse des protéines et des acides aminés aboutit à la formation de l'ammoniac qui sera transformé en urée dans le foie et éliminé par le rein. Les ruminants ont la capacité de recycler l'urée qui rejoint le tube digestif via la salive ou l'épithélium du rumen. Ce recyclage, particulièrement actif chez le dromadaire, est lié à la teneur de la ration en matières azotées (Wilson, 1984). En effet, ce recyclage d'azote passe de 47 à 86% quand les apports azotés de la ration sont réduits de 13,6 à 6,1%. Par ailleurs, en situation de déficit protéique, le dromadaire excrète seulement 1% de son urée, contre 23% chez le mouton.

C'est au niveau du rein que l'essentiel de l'urée est réabsorbé bien que le recyclage commence dans les glandes salivaires et surtout le rumen. En fait, cette réabsorption est étroitement associée à celle de l'eau, et est sous la dépendance de l'hormone ADH. Ainsi le dromadaire déshydraté, même alimenté normalement, diminue son excrétion d'urée tant par la voie fécale qu'urinaire. Il a été observé également qu'en l'absence d'urée, la réabsorption de l'eau diminuait (Faye, 1997).

Cette capacité remarquable de recyclage induit quelques précautions en matière d'alimentation. Chez les ruminants, il est courant d'apporter de l'urée dans la ration, ce qui

permet de diminuer l'apport en protéines et donc le coût des aliments. Chez le dromadaire, une telle pratique est à prohiber. Du fait du recyclage, l'urée s'accumule rapidement dans le sang et peut conduire à une intoxication. De même l'apport excessif d'un complément riche en tourteaux par exemple, provoque un véritable gâchis de protéines. Le dromadaire est habitué à une alimentation frugale. Il ne supporte donc que très mal les excès en la matière (Faye, 1997).

## 1.2 Les protéines sériques

Les protéines sériques sont constituées principalement d'albumine et de globulines. Elles sont en grande partie synthétisées par le foie qui assure leur stockage avec le muscle. Elles participent à une homéostasie rigoureuse de l'organisme et assurent le transport des substances endogènes et exogènes, la régulation de la pression osmotique, la protection de l'organisme contre les agressions externes par les immunoglobulines ainsi que des activités métaboliques diverses grâce aux enzymes et hormones protéiques (David *et al*, 1985).

Les valeurs usuelles de la concentration des protéines sériques sont comprises entre 60 g/l et 75 g/l chez le dromadaire (Bengoumi, 1992).

La concentration des protéines sériques et de leurs fractions augmentent avec la déshydratation chez tous les animaux. En effet, en raison de leur poids moléculaire élevé, les transferts des protéines du plasma vers les autres milieux liquidiens sont très faibles. Par conséquent, toute diminution du volume plasmatique entraîne une augmentation de leurs concentrations. Chez le dromadaire, l'influence de la déshydratation sur les protéines sériques n'est pas encore élucidée, et les résultats sont contradictoires. Ghosal *et al*. (1974), ainsi que Bengoumi (1992) ont constaté une augmentation progressive des protéines totales et de leurs fractions en fonction du degré de déshydratation, Bengoumi observe, en effet, une augmentation de 40%, suite à une déshydratation de 14 jours.

### 1.3 L'urée

L'urée est le produit ultime du métabolisme azoté. Elle est biosynthétisée dans le foie à partir de l'ammoniac provenant de la désamination des acides aminés. L'urée synthétisée peut-être soit excrétée par le rein, soit retournée au tube digestif, *via* la salive ou l'épithélium du rumen, pour être réutilisée comme source d'azote nécessaire à la synthèse d'acides aminés. Le métabolisme azoté du dromadaire se démarque de celui des autres ruminants par sa grande capacité de recyclage de l'urée.

Le métabolisme de l'urée est fortement influencé par la déshydratation. Chez les animaux domestiques, la diminution de la filtration glomérulaire s'accompagne d'une augmentation très marquée de l'urémie (Kaneko, 1989). La réabsorption tubulaire de l'urée et son recyclage sont plus accentués chez le dromadaire.

La déshydratation entraîne une diminution de la filtration glomérulaire et une forte réabsorption tubulaire de l'urée. Il en résulte une augmentation de l'urémie et une chute de la concentration urinaire de l'urée selon Yagil et al. (1978), cependant Bengoumi (1992) a constaté une augmentation nette de la concentration d'urée dans les urines lors d'une déshydratation de 14 jours. L'urée paraît jouer un rôle important lors de la déshydratation chez le dromadaire. En effet, par ses effets osmotiques, l'urée permet d'attirer vers le plasma l'eau provenant des milieux extracellulaire et cellulaire (Yagil, 1985).

### 1.4 Créatinine

La créatine est une substance azotée non protéique produite au cours du métabolisme musculaire. La créatinémie est le reflet de la filtration glomérulaire du rein. Tous les auteurs ont noté une augmentation de la créatinémie lors d'une épreuve de déshydratation chez le dromadaire, mais le taux de variation n'est pas le même d'une expérience à l'autre. Yagil (1978) notait une augmentation de 60% alors que Bengoumi (1992) a relevé une augmentation de 276% (de 116 à 437  $\mu\text{mol} / \text{L}$ ) pour une déshydratation de 14 jours.

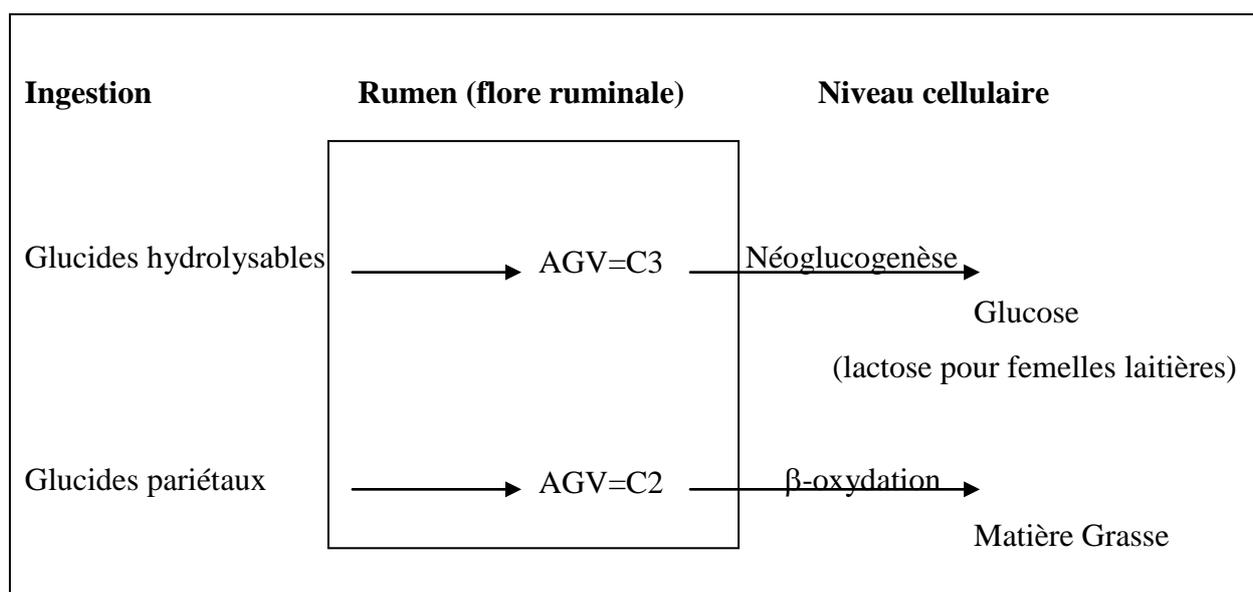
## 2. Le métabolisme énergétique

### 2.1 Généralités sur le métabolisme énergétique des ruminants

Chez les ruminants, la principale source d'énergie est constituée par les Acides Gras Volatils (AGV) issus de la dégradation des glucides alimentaires dans le rumen. Les glucides alimentaires se divisent en 2 catégories : les glucides hydrolysables et les glucides pariétaux. La ration des ruminants est constituée d'environ 75% de glucides, qui sont essentiellement des glucides pariétaux.

- Les glucides hydrolysables sont dégradés dans le rumen par la flore amylotique, et seront essentiellement transformés en propionate (C3), qui servira à la néoglucogénèse.
- Les glucides pariétaux sont dégradés par la flore cellulolytique du rumen pour donner une majorité d'acétate (C2) qui est ensuite utilisé pour la synthèse de la matière grasse (Acides gras, Triglycéride).

Chez les bovins et les petits ruminants, l'essentiel des besoins énergétiques est directement assuré par la production d'AGV ; une très faible quantité de glucose est générée, ce qui explique la faiblesse de la glycémie chez ces animaux.



**Figure 10:** Digestion des glucides ingérés chez les ruminants

Chez les bovins, l'acétate (C2) représente plus de 60% des AGV du rumen, le propionate (C3) environ 20%, et la teneur en butyrate est inférieure à 20%. Les AGV issus des glucides pariétaux (acétate, C2 principalement) passent sous la forme acétyl-CoA, ceux-ci subissent une cétogénèse et se retrouvent dans le sang sous la forme de corps cétoniques. Dans les cellules de l'organisme, les corps cétoniques repassent sous la forme d'acétyl-CoA qui se condenseront en Acides Gras (AG) sous l'action de l'acétyl-CoA carboxylase. Les AG peuvent libérer de l'AcylCoA qui sous l'action d'une estérase se condense avec du glycérol-3-phosphate (issu du métabolisme du glucose) pour former des triglycérides. Ces triglycérides peuvent être stockés dans les adipocytes, ou bien être utilisés pour les sécrétions mammaires (lipides du lait) et hépatiques.

## **2.2 Les principaux paramètres du métabolisme énergétique et leurs valeurs usuelles chez le dromadaire**

### **◆ *Glucose***

La glycémie est maintenue dans des limites relativement étroites par le contrôle de plusieurs mécanismes : la libération du glucose par les tissus périphériques (glycogénolyse et néoglucogénèse), son utilisation (glycolyse) et son stockage (glycogénèse). Ces différents processus biologiques étant sous la dépendance d'hormones, dont les principales sont : l'insuline, le glucagon, l'adrénaline, l'hormone de croissance et les glucocorticoïdes (Bengoumi, 1992).

Chez les ruminants, une hypoglycémie révèle une sous-alimentation énergétique ou une cétose, alors qu'une hyperglycémie est souvent consécutive à un stress ou à un apport énergétique excessif (Emmanuel, 1981).

La glycémie moyenne du dromadaire varie de 3,3 à 7,7 mmol/l (Bengoumi, 1992). Elle est donc supérieure à celle des autres ruminants qui est de l'ordre de 2,5 à 4,5 mmol /l et proche de celle des monogastriques.

### **◆ *Triglycérides***

Chez les ruminants, les triglycérides sont essentiellement synthétisés dans le tissu adipeux, le foie ayant une faible activité lipogène (Chilliard, 1989). Les précurseurs de cette synthèse sont les acides gras libres circulants et le glucose. Les triglycérides sont des lipides de réserve, stockés dans des vésicules à l'intérieur des adipocytes et des hépatocytes. Leur mobilisation, pour assurer les besoins en énergie de l'organisme, est sous la dépendance d'hormones dont les principales sont l'insuline et la leptine (Braun, 1999 a).

La triglycéridémie du dromadaire est comprise entre 0,13 et 0,27 mmol /l, elle est légèrement supérieure à celle des bovins (Faye et Mulato, 1991).

#### ◆ *Acides gras libres*

Les acides gras libres sont issus surtout de la lipolyse des réserves énergétiques (triglycérides). Dans le sang, ils sont transportés, sous forme liée à l'albumine, vers le foie où leur devenir dépend des besoins énergétiques:

- Lors de carence en énergie, ils sont oxydés en acétyl-CoA qui rejoint le cycle de l'acide citrique. Si les besoins énergétiques sont accrus et si la glycémie est faible, l'acétyl-CoA ne peut rejoindre le cycle de l'acide citrique (manque d'oxalo-acétate) ; il s'accumule alors dans l'organisme favorisant la cétogénèse (risque de cétose) ou la stéroïdogénèse.

- Lors d'excès d'énergie, ils sont utilisés dans le foie pour la synthèse des phospholipides et des triglycérides, ainsi que pour l'estérification du cholestérol.

La concentration moyenne des acides gras libres du dromadaire dans le sang est comprise entre 0,10 et 0,30 mmol /l. Elle est comparable à celle des bovins. (Faye et Mulato, 1991).

#### ◆ *Corps cétoniques*

Ils ont un rôle d'intermédiaires dans le métabolisme énergétique en permettant le transport du groupement acétate qui est indispensable pour la synthèse des acides gras et pour le fonctionnement du cycle citrique.

Les corps cétoniques sont synthétisés par les hépatocytes de tous les animaux. Les ruminants produisent une grande partie de ces corps cétoniques à partir des acides gras volatils présents dans leur rumen.

Les concentrations plasmatiques de l'acéto-acétate et du  $\beta$ -hydroxybutyrate sont très faibles chez le dromadaire. Elles seraient inférieures ou égales à 0,01 mmol /l (Bengoumi, 1992).

#### ◆ *Cholestérol*

C'est un alcool polycyclique apolaire qui participe à la structure des membranes cellulaires et des lipoprotéines. Il sert de précurseurs à de nombreux composés biologiques dont les hormones stéroïdiennes et les sels biliaires. Sa présence dans l'organisme est due à un apport alimentaire et endogène (par le recyclage des sécrétions biliaires) ainsi qu'à une synthèse hépatique.

La concentration plasmatique du cholestérol est fortement liée à l'activité des hormones thyroïdiennes, qui contrôlent son métabolisme hépatique. La cholestérolémie peut être utilisée comme indicateur de la fonction thyroïdienne, du fait que l'hypothyroïdisme est généralement associé à une élévation du cholestérol sérique (Bengoumi, 1992).

La cholestérolémie du dromadaire est comprise entre 0,46 et 3,88 mmol /l ce qui est légèrement inférieur aux valeurs usuelles des bovins (Bengoumi, 1992).

#### ◆ *Principales hormones régulatrices du métabolisme énergétique*

##### - Insuline et Glucagon

Ce sont 2 hormones synthétisées par les cellules  $\beta$  des îlots de Langerhans du pancréas. Leur sécrétion est essentiellement commandée par la glycémie et leur activité tend à réguler celle-ci.

La sécrétion d'insuline, qui répond à une augmentation de la glycémie, va favoriser tous les mécanismes qui entraînent la diminution de celle-ci. Elle a effet direct sur l'activation de la glycolyse et de la glycogénèse ainsi que sur l'inhibition de la néoglucogénèse et de la glycogénolyse. Elle agit indirectement sur le métabolisme lipidique en favorisant la lipogénèse et en inhibant la lipomobilisation et la  $\beta$ -oxydation des acides gras. Le glucagon va agir à l'opposé de l'insuline en favorisant tous les mécanismes métaboliques qui tendent à augmenter la glycémie.

- Lipoprotéine lipase

C'est une glycoprotéine synthétisée essentiellement par le foie (hépatocytes), mais aussi par d'autres tissus extra hépatiques (tissus adipeux et muscles essentiellement). Elle joue un rôle essentiel dans le catabolisme des lipides, en permettant l'hydrolyse des triglycérides transportés par les lipoprotéines circulantes (chylomicron et Very Low Density lipoprotein) (Braun, 1999). La lipoprotéine lipase reste fixée sur l'endothélium des capillaires sanguins, au niveau des chaînes de protéoglycanes de l'héparan sulfate, elle ne circule qu'en très faible quantité. Suite à l'hydrolyse des triglycérides il y a libération de 2 acides gras et d'un monoglycéride qui pénètrent rapidement dans les cellules musculaires, myocardiques et adipeuses. Ainsi, La lipoprotéine lipase intervient directement dans le captage des acides gras par ces tissus (Faulconnier et al., 1999).

- Leptine

C'est une hormone d'origine protéique (167 acides aminés, PM = 16 kD) découverte en 1994. Elle est sécrétée principalement par les adipocytes (surtout les blancs) dont le rôle principal est d'informer l'organisme sur le niveau des réserves lipidiques (Chilliard et al., 1999). C'est un signal métabolique à long terme, dont la diminution stimulerait l'appétit, diminuerait les dépenses énergétiques et inhiberait la reproduction chez les femelles si le niveau des réserves corporelles est insuffisant pour enclencher une gestation et une lactation. Sa sécrétion est corrélée à la masse lipidique et à la taille des adipocytes. Elle agit sur le centre hypothalamique de la satiété (elle diminue la sensation de faim) et a aussi une action autocrine qui entraîne une lipomobilisation et donc une libération d'acides gras libres dans le sang (Chilliard et al., 1999).

-  $\beta$ -agonistes

Ils sont sécrétés par les glandes surrénales, et ils agissent à la fois comme une hormone et comme un neurotransmetteur sur l'organisme. Au niveau du métabolisme énergétique, leur sécrétion va favoriser la lipomobilisation et tous les mécanismes à l'origine de l'augmentation de la glycémie.

## 2.3 Spécificités du métabolisme énergétique chez le dromadaire

### ◆ *Localisation des réserves corporelles*

Chez toutes les espèces de mammifères, les lipides constituent une forme de d'énergie mobilisable pour assurer les besoins d'entretien, de production et d'adaptation au milieu (Chilliard, 1989). Chez les animaux des régions chaudes, les dépôts adipeux sous-cutanés forment un obstacle à la dissipation de la chaleur corporelle par évaporation de la sueur (Wilson, 1984). Comme le zébu avec sa bosse sur le garrot, le mouton avec sa queue grasse, le dromadaire s'est adapté en accumulant le gras de réserve sur son dos. Il est toutefois probable que les besoins de la thermorégulation ne permettent pas d'expliquer à eux seuls les variations anatomiques des dépôts lipidiques des différentes espèces (Chilliard, 1989).

Le poids de la bosse du dromadaire oscille entre 10 et 20 kg, mais on trouve une fourchette de poids allant de 0 à 90 kg selon l'état nutritionnel et physiologique de l'animal. S'accumulant pendant les périodes favorables, les lipides de réserve sont facilement mobilisables lors de périodes de sous alimentation ou de jeûne prolongé. Cette bosse concentre la majorité des lipides corporels (plus de 50%), et elle est essentiellement composée de triglycérides dont le point de fusion est d'environ 50°C, elle est riche en acides palmitiques, stéariques et oléiques (Mirgani, 1977). L'importance de cette réserve permet aux camelins une bonne capacité à résister temporairement aux déficits énergétiques. En effet, le catabolisme de 3 kg de lipides apporte 160 mégajoules d'énergie mobilisable, soit l'énergie nécessaire à 8 jours d'entretien d'un dromadaire déshydraté (Chilliard, 1989). Un essai de sous-alimentation et suralimentation sur un groupe de dromadaires a montré la corrélation

positive entre le déficit énergétique de la ration et la mobilisation des lipides de la bosse (Toure, 2001)

La bosse du dromadaire, qui concentre pourtant la majorité des réserves corporelles de cet animal, ne serait pas un bon indicateur de l'état corporel. En effet, ces dimensions sont sous la dépendance de facteurs qui ne sont pas uniquement alimentaires. Le volume des réserves adipeuses dans ce tissu dorsal, unique parmi les espèces domestiques par son importance relative potentielle, témoigne sans aucun doute de l'état nutritionnel pour un individu donné compte tenu du nombre d'adipocytes dont il dispose. Mais les dimensions elles-mêmes, le nombre d'adipocytes et la forme générale sont sous la dépendance de facteurs génétiques et varient donc fortement entre individus ayant des états d'engraissement comparables (Faye et al., 2002). Une grille de notation de l'état corporel du dromadaire a été mise en place par Faye *et al.* (2002), elle s'appuie essentiellement sur l'observation de la pointe des fesses, de la pointe de la hanche, de la pointe de l'épaule et de la zone ano-génitale.

Après la bosse, les parties qui contiennent le plus de graisse sont: le flanchet avec le gras peri-rénal (34%), la région dorso-lombaire (14%), le train de côte (11,7%), la région dorso-thoracique (7,6%), l'épaule (5,1%), la cuisse (4,5%) et le collier (1,2%). Le gras total chez le dromadaire représente en moyenne 8% du poids de la carcasse (Faye *et al.*, 2002)). Chez les autres ruminants, la répartition du gras diffère; le bovin taurin concentre 58% de sa masse adipeuse dans les dépôts adipeux intermusculaires et le gras sous cutané représente 27% du gras total. Une carcasse de bovin contient environ 20% de gras.

#### ◆ *Une glycémie stable et une cétogénèse faible*

Sur le plan du métabolisme énergétique, le dromadaire diffère notamment des ruminants. En effet, ceux-ci assurent l'essentiel de leurs besoins énergétiques à partir de la production d'acides gras volatils (AGV) et une faible quantité de glucose est générée. Le dromadaire en revanche, présente une glycémie normale de l'ordre de 1 g/l soit une valeur tout à fait comparable à celle des monogastriques. Par ailleurs, il présente une néoglucogénèse

très active tant au niveau du foie que du rein (Emmanuel, 1981), ce qui lui permet de maintenir une glycémie presque normale en cas de privation de nourriture.

Chez les ruminants, la prise de repas et surtout le jeûne se traduisent par une cétogénèse importante avec en particulier l'accumulation de corps cétoniques dans le sang, comme le  $\beta$ -hydroxybutyrate, qui peuvent, en cas de privation de nourriture prolongée ou d'ingestion insuffisante (exemple de la vache laitière en début de lactation), conduire à des troubles sanitaires graves : ce sont les cétooses. Chez le dromadaire, les principaux AGV rencontrés dans le rumen sont l'acétate (77%), le propionate (16%) et le butyrate (7%) (Williams, 1963). La cétogénèse est faible en toute circonstance dans le rumen du dromadaire, ce qui limite donc tous les risques de cétoose. Le butyrate absorbé par l'animal au cours du cycle de transformation des AGV est directement utilisé par le rein comme source d'énergie, et par le tissu adipeux comme précurseur de la synthèse des acides gras.

#### ◆ *Un métabolisme énergétique adapté au milieu aride*

Comme nous l'avons signalé dans la partie consacrée à sa physiologie, le dromadaire, lors d'une privation d'eau, peut économiser de l'énergie et réduire de plusieurs façons son métabolisme énergétique : diminution de la vitesse de renouvellement de l'eau (turn-over hydrique), fluctuations possibles de la température corporelle, maintien de la fluidité du sang, baisse de l'insulinémie et conservation du glucose, hypothyroïdie, et divers mécanismes limitant les gains de chaleur et les pertes d'eau (Chilliard, 1989). Ces lipides corporels représentent une source d'énergie mobilisable mais ne peuvent pas être considérés comme une réserve d'eau métabolique car leur oxydation entraîne une perte d'eau, au niveau pulmonaire, supérieure au gain fourni par cette même oxydation (Schmidt-Nielsen, 1964).

#### ◆ *Les lipides du lait*

Le lait de dromadaire présente un taux butyreux de 3 à 5% comparable à celui des bovins et des caprins (Wilson, 1984). Contrairement à ce qui est observé chez les bovins et les petits ruminants, le colostrum de dromadaire est très pauvre en lipides. Les lipides du lait de dromadaire ne contiennent pas d'acides gras à chaîne courte contrairement à ce qui est observé chez les autres ruminants ; mais il est très riche en acides gras insaturés. Ces

caractéristiques (pauvreté en acides gras à chaîne courte et grande résistance des globules gras responsables de la sécrétion des lipides dans le lait) expliquent probablement l'absence de rancissement des lipides au cours de la conservation du lait ou des produits laitiers (Chilliard, 1989).

La stratégie de la sécrétion lactée des herbivores du désert est variable selon les espèces. La chèvre bédouine et le dromadaire produisent des quantités importantes d'un lait relativement dilué (Oftedal, 1984). Lors d'une déshydratation, le dromadaire assure l'approvisionnement en eau du jeune en maintenant une production laitière suffisante (Yagil, 1980).

### **2.3 Métabolisme énergétique et déshydratation**

#### **◆ Glucose**

Tous les auteurs qui se sont intéressés à l'évolution de la glycémie chez le dromadaire déshydraté, ont noté une nette augmentation. Pour une privation d'eau de 10 jours, la glycémie augmente de 20 à 80% selon les auteurs alors que la glucosurie est inchangée (Berlyne *et al.*, 1978 ; Banerjee *et al.*, 1963). Suite à une déshydratation de 14 jours, Bengoumi (1992) a observé une augmentation de 160% de la glycémie (de 6,2 mmol/l à 16,1 mmol/l).

Cette hyperglycémie serait due à l'absence de l'élimination rénale du glucose et à la diminution de son utilisation. En effet, lors de la déshydratation, l'insulinémie baisse de plus de 30% (Berelyne *et al.*, 1978). L'insuline agit principalement sur le stockage et l'utilisation du glucose mais elle n'aurait pas d'effet sur sa réabsorption rénale. L'élimination urinaire du glucose s'accompagne d'énormes pertes en eau, comme c'est le cas chez les diabétiques. Le dromadaire déshydraté réduit donc ses pertes hydriques en maintenant une glycémie élevée et une glucosurie pratiquement nulle. L'hypo-insulinémie permettrait de maintenir un métabolisme de base faible en diminuant l'utilisation du glucose (Bengoumi, 1992).

## ◆ *Lipides*

L'effet de la déshydratation sur le métabolisme des lipides a longtemps été négligé. La bosse du dromadaire a longtemps été considérée comme une réserve lipidique mobilisable pour libérer de l'eau lors de la déshydratation (Bengoumi, 2002). Bengoumi (1992) et Yagil (1985) ont constaté que suite à une déshydratation, les lipides de la bosse ne seraient pas mobilisés, mais ils ont noté une lipomobilisation importante dont l'origine serait à élucider. Suite à 14 jours de privation d'eau, Bengoumi (1992) constate une hyperlipémie générale: la cholestérolémie passant de 1,16 mmol /l à 4,17 mmol /l, la triglycéridémie augmente de 600% (0,22 mmol/l à 1,59 mmol/l) et la concentration en acides gras libres de 2600% (0,03 mmol/ à 0,86 mmol/l).

### **3. Electrolytes et minéraux**

La natrémie du dromadaire est plus élevée que celle des autres animaux domestiques (Djegham et Belhadji, 1986). Le métabolisme du sodium est fortement influencé par la déshydratation : il y aurait une augmentation simultanée de la natrémie et de la natriurie (l'augmentation de la natriurie est contestée par certains auteurs : Siebert, 1971). Cette augmentation s'explique par la diminution de la filtration glomérulaire et de la réabsorption tubulaire du sodium. Bengoumi (1992) a relevé, après une privation d'eau de 14 jours, une augmentation de la concentration plasmatique de 150 mmol /l à 190 mmol /l.

Bengoumi (1992) a noté, après une privation d'eau de 10 jours, que la kaliémie restait stable, et est de 4,7 mmol /l, Yagil (1985) avait, pour sa part, mis en évidence une augmentation de 3% de celle-ci.

La chlorurémie, qui est plus élevée chez le dromadaire que chez les autres espèces (Djegham, 1986), augmente après une déshydratation de 10 jours, passant de 112 mmol /l à 146 mmol /l (Bengoumi, 1992). Les chlorures ne sont pas soumis à une régulation spéciale : leur métabolisme suit celui du sodium.

La calcémie n'évolue pas (2,5 mmol /l) alors que la phosphatémie augmente (de 2 mmol /l à 4,2 mmol /l), ce qui entraîne une diminution du rapport calcium / phosphate (Bengoumi, 1992).

## **CONCLUSION DE LA REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

Le dromadaire, par son comportement et par sa physiologie, est un animal totalement adapté aux milieux arides et semi-arides. Le manque d'eau entraîne une cascade métabolique au sein de son organisme, avec augmentation de la glycémie, de la lipidémie ainsi que des paramètres azotés sanguins (créatinémie, urémie) alors que les concentrations plasmatiques en électrolytes ne varient pas de façon uniforme. Le déterminisme de ces bouleversements métaboliques n'est pas clairement élucidé bien que le rôle des hormones du métabolisme paraît essentiel. L'intérêt de cet essai, et d'autres qui suivront, est de contribuer à élucider l'origine de ces changements de profils métaboliques, et éventuellement de trouver le chaînon manquant qui nous permettrait de lier ces modifications biochimiques à la physiologie si spécifique du dromadaire déshydraté.

Dans cet essai, nous voulions spécifiquement étudier l'effet de la déshydratation sur la mobilisation des réserves corporelles du dromadaire, ainsi nous avons mesuré les paramètres sanguins liés au métabolisme énergétique (glycémie, lipidémie, corps cétoniques circulants) et nous avons évalué quelques paramètres représentatifs de l'état corporel général du dromadaire (les mensurations de la bosse, le poids et la notation de conformation). Ainsi, nous voulions confirmer ou non les écrits de Yagil (1985) et Bengoumi (1992), qui vont dans le sens d'une augmentation des concentrations plasmatiques des métabolites énergétiques, et établir ou non un lien avec une éventuelle modification de l'état corporel des animaux.



**PROTOCOLE  
EXPERIMENTAL**

# **I. SITUATION DE L'ETUDE ET ANIMAUX UTILISES**

## **1. Objectifs et originalité de l'essai**

Pour cet essai, nous disposions d'un troupeau de 12 chamelles dont 6 ont servi de témoins et n'ont pas subi de privation d'eau, les 6 autres, appelées animaux tests ont subi une déshydratation de 23 jours, suivie d'une réhydratation d'une durée de 5 jours. Les mesures (poids, mensurations de la bosse, notation d'état corporel) et les prélèvements sanguins ont été réalisés sur tous les dromadaires et ont été répétés durant les 3 phases de notre expérimentation (adaptation, déshydratation, réhydratation). Ainsi, en décidant d'effectuer des mesures échelonnées sur tout l'essai, nous avons suivi le protocole de Bengoumi (1992) alors que Yagil (1985) avait opté pour des prélèvements en début et en fin d'essai. La présence d'un lot témoin constitue la principale originalité de notre étude.

Les animaux témoins et les animaux tests se trouvant dans des conditions identiques, notre objectif est triple:

- mettre en évidence ou non l'évolution des paramètres mesurés pour chacun des 2 lots (test et témoin) en fonction du temps (les 3 phases).

- mettre en évidence d'éventuelles différences dans l'évolution des paramètres entre les 2 lots au cours de l'expérimentation.

- trouver de possibles corrélations entre l'évolution des valeurs et la physiologie du dromadaire hydraté et déshydraté.

## 2. Situation de l'étude

Cette étude a été réalisée au Centre Régional d'Insémination Artificielle d'Ain Jmaa qui est situé à 30 km au sud de Casablanca (Maroc), sur la route d'El Jadida (Figure 11). Ce choix a été adopté pour les raisons suivantes :

- la disponibilité d'infrastructures (boîtes individuelles, abreuvoirs, etc.) et de matériel (laboratoire, congélateur, balances pour grands animaux, etc.).
- présence de personnel pour la contention des animaux et la surveillance des animaux.

Le climat est relativement doux et les températures ont été constantes durant toute la durée de l'essai (réalisé du 4/03/2002 au 14/05/2002). Les températures étaient relevées quotidiennement à 8h et à 14h.

	Moyenne (°C)	Ecart type	Maximum	Minimum
Matin	13,6	2,6	17	11
Après-midi	23,2	4,8	29	18

**Tableau 2** : Température moyenne à Ain Jmaa durant l'essai



**Figure 11** : Localisation d'Ain Jmaa

### 3. Animaux utilisés

#### 3.1 Constitution des lots

Ce travail a été réalisé sur 12 chamelles, non gestantes, tariées et âgées de 12 à 17 ans. Pour notre expérimentation, 2 lots homogènes de 6 chamelles ont été constitués.

Le premier lot est formé par les 6 animaux témoins, qui durant l'ensemble de l'essai seront abreuvés. Le deuxième lot est le lot test, ces animaux ont subi une épreuve de déshydratation de 23 jours suivie d'une réhydratation de 5 jours.

Afin de se rapprocher des conditions naturelles de déshydratation chez le dromadaire, les chamelles sont entravées à l'air libre, en plein soleil (figure 12). Les 2 lots sont séparés par des cloisons (mur grillagé), et à l'intérieur de chaque lot les animaux sont groupés par 2. Nous avons donc 3 boxes de 2 animaux pour chacun des 2 lots (figure 13).



**Figure 12 :** Chamelle entravée au soleil dans un box durant l'essai (photo de l'auteur)



**Figure 13 :** Les animaux des 2 lots entravés et groupés dans les boxes (photo de l'auteur)

### **3.2 Suivi des animaux**

Avant le début de l'essai, les chamelles étaient maigres et présentaient des signes de déshydratation. Elles étaient mises au pâturage une partie de la journée, et ne recevaient aucun complément alimentaire. C'est essentiellement pour cette raison que nous avons décidé d'adopter une période d'adaptation d'une durée d'un mois. Durant cette période, les animaux ont été nourris et abreuvés correctement (les rations et quantités d'eau distribuées sont détaillées par la suite).

Tous les animaux ont été déparasités durant la phase d'adaptation à l'aide d'une injection de Doramectine (Dectomax ND).

Un suivi clinique des animaux a été réalisé durant toute la durée de l'essai. Il comprenait la température rectale (prise le soir à 18h), la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire. Cet examen clinique était effectué le jour des pesées.

## II. DEROULEMENT DE L'ESSAI

### 1. 3 phases successives

Cet essai s'est déroulé sur une période de 70 jours (du 4 mars au 13 mai 2002). Il comprend 3 phases (tableau 3) :

- Une phase d'adaptation d'une durée de 40 jours (du 7/03 au 14/04) dont l'objectif est d'obtenir des lots homogènes d'animaux possédant un état corporel et un état d'hydratation satisfaisants. Durant cette période, nous avons déterminé les besoins en aliments et en eau de chaque animal en quantifiant les refus quotidiens. Ainsi, chaque chamelle reçoit, quotidiennement et à heure fixe, un régime personnalisé en eau et en aliments. Ces mesures nous ont permis d'éliminer les éventuels artéfacts qui seraient dus à des variations journalières d'ingestion alimentaire et d'abreuvement.

- Une phase de déshydratation d'une durée de 23 jours (du 15/04 au 08/05). Durant cette période, les animaux du lot test ne reçoivent plus du tout d'eau mais sont toujours alimentés. Les animaux du lot témoin sont abreuvés normalement, mais leur ration est réévaluée quotidiennement, et diminuée de façon proportionnelle au refus d'ingestion des animaux tests. Ainsi, nous espérons éliminer les éventuels biais provenant d'une différence d'ingestion entre les 2 lots.

- Une phase de réhydratation d'une durée de 5 jours (9/05 au 13/05). Les animaux du lot test sont abreuvés à volonté les 2 premiers jours (les quantités d'eau ingérée ont été mesurées), puis reçoivent les jours suivant la quantité d'eau qui avait été définie individuellement en phase d'adaptation. Les 6 animaux du lot témoin gardent le même régime qu'en phase d'adaptation.

Durant ces 3 périodes, les paramètres étudiés dans cette étude ont été mesurés sur les 2 lots (les modalités d'évaluations des différents paramètres sont décrites ci-dessous). Le planning de l'évaluation des différents paramètres est représenté dans le tableau 3. L'échelle de temps se réfère à JO qui représente le début de la déshydratation pour le lot test.

	Adaptation (40 jours)	Déshydratation (23 jours)	Réhydratation (5 jours)
Prélèvements sanguins	J-7 J-3 J0	J5 J10 J15 J21 J23	J24 J25 J29
Pesées	J-7 J0	J7 J14 J23	J25 J29
Mensurations de la bosse	J0	J7 J14 J23	J29
Notes d'état corporel	J-7 J0	J14 J23	J29

**Tableau 3** : planning de l'essai pour les paramètres étudiés

## 2. Besoins nutritionnels et rations quotidiennes

### 2.1 Besoins nutritionnels du dromadaire

Pendant longtemps, les scientifiques ont considéré que les besoins nutritionnels du dromadaire étaient comparables à ceux des bovins. Quelques travaux s'appuyant sur les techniques de calorimétrie indirecte ont permis de préciser les besoins nutritionnels énergétiques et azotés de l'espèce (Faye, 1997).

Les besoins alimentaires d'entretien d'un animal représentent les quantités nécessaires en énergie, azote et minéraux qu'il doit ingérer pour maintenir constant son PV (Poids Vif) et sa composition corporelle sachant qu'il ne produit rien, ni croît, ni travaille. Les besoins d'entretien en énergie du dromadaire adulte sont estimés à 1,1 UFL (Unité Fourragère Lait) par 100 kg de PV. Les besoins azotés d'entretien sont estimés à 70 g de MAD (Matière Azoté Digestible en g /kg) par 100 kg de PV. Ces besoins doivent être majorés en fonction du stade physiologique (lactation, croissance) de l'animal et de son exercice physique (Faye, 1997). Pour notre essai, les animaux ayant été entravés toute la journée, nous nous en sommes tenus aux besoins d'entretien.

### 2.2 Ration distribuée durant l'essai

Pour élaborer une ration qui corresponde aux besoins des animaux, l' Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II a mis à notre disposition de la paille de blé, du tourteau de tournesol, de l'orge et un CMV (Complément Minéral Vitaminé) dont les valeurs en

énergie (UFL) et azote (MAD) sont indiquées dans le tableau 4. La paille est broyée sur place et l'orge est concassé.

	UFL /kg de MS	grammes de MAD /kg de MS
Paille de blé	0,4	0,0
Tourteau de tournesol	0,6	255
Orge	1,0	75
CMV	0,0	0,0

**Tableau 4:** Valeur digestible des aliments composants la ration (Tables d'alimentation, INRA, 1989)

La première semaine, les animaux étaient laissés au pâturage le matin et recevaient une ration l'après-midi. Nous avons fait cette transition alimentaire afin d'éviter tout problème digestif lié au changement d'alimentation (les chamelles ne reçoivent habituellement aucun concentré).

A partir de la deuxième semaine et jusqu'à la fin de l'essai, la ration a été divisée en 2 repas quotidiens distribués à heures fixes (9h le matin et 15h l'après-midi). Cette ration a été personnalisée en fonction des besoins de chaque animal. Pour cela nous avons pris en compte et mesuré quotidiennement les refus de chaque animal.

Pour une chamelle de 350 kg, les besoins quotidiens sont de 3,2 UFL et de 210 g de MAD. Pour cette chamelle, nous avons distribué une ration composée de 4 kg de paille, 1,5 kg d'orge, 0,4 kg de tourteau de tournesol et 100 g de CMV.

### **3. Abreuvement**

Les besoins quotidiens en eau du dromadaire sont estimés à 6 litres pour 100 kg de PV en période sèche, et à 4 litres pour 100 kg de PV en période humide (Faye, 1997). A partir de ces données, nous avons distribué une quantité d'eau fixe à chaque chamelle à l'aide d'un seau gradué. Cette quantité a été ajustée en phase d'adaptation, en fonction des refus de

chaque animal (tableau 5). Les animaux sont abreuvés tous les jours après le repas matinal (entre 11h et 12h).

	Moyenne (en litres)	Ecart type	Maximum	Minimum
Lot témoin	14,5	4,4	19	8
Lot test	14,3	2,4	18	10

**Tableau 5 : Quantité d'eau bue quotidiennement par les chameilles en phase d'adaptation**

### **III. POIDS VIF, MENSURATIONS DE LA BOSSE ET CONFORMATION**

#### **1. Poids vif**

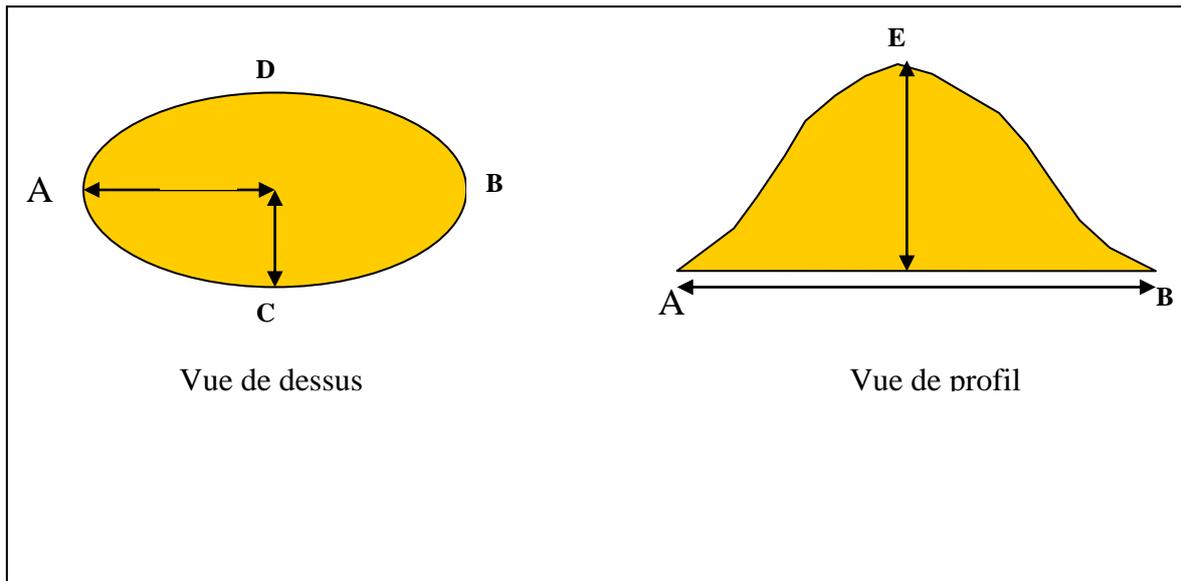
Les pesées ont eu lieu à J-7, J0, J7, J14, J23, J25 et J29, soit 7 pesées au total : 1 en phase d'adaptation, 4 en phase de déshydratation et 2 en phase de réhydratation. Nous disposons d'une balance pour grands animaux dont la précision est de +/- 1 kg.

#### **2. Mensurations, poids et volume de la bosse**

Hauteur, longueur, circonférence et épaisseur ont été mesurées de façon hebdomadaire selon la méthode décrite par Faye *et al* (2002). Les bosses ont été tondues jusqu'à leurs limites anatomiques identifiées à la palpation. A est la limite crânienne, B la limite caudale, C et D sont les limites de côtés (droite et gauche) et sont les milieux de la distance AB, E est le sommet de la bosse (figure 14). Nous avons ainsi évalué 4 paramètres :

- Longueur de la bosse (L) : distance entre la limites crânienne (A) et la limite caudale (B) en passant par le sommet de la bosse (E).

- Hauteur de la bosse (H): distance entre les limites gauche et droite de la bosse (C et D) en passant par le sommet (E).
- Largeur de la bosse (l) distance qui sépare la limite crânienne (A) et la limite caudale (B) en passant par le côté (C ou D). C'est, en fait, la demi-circonférence vue de dessus.
- Epaisseur de la bosse : distance séparant les milieux des 2 profils de la bosse (C et D).



**Figure 14** : Représentation schématique des dimensions de la bosse (Faye *et al*, 2002)

La longueur, la largeur et la hauteur ont été mesurées à l'aide d'un mètre-ruban. L'épaisseur a été évaluée grâce à un pied à coulisse.

Le volume de la bosse (en litres) a été calculé, en considérant celle-ci comme une demi-ellipsoïde :  $V = 0,007 L * l * H$  (Faye *et al*, 2002).

La formule retenue pour calculer le poids de la bosse est celle de Kamili (2003) élaborée dans le sud de la Tunisie :  $P \text{ (kg)} = 0,45 H \text{ (cm)} - 13,8$  ( $\epsilon = 0,571$ ,  $n = 64$ ,  $p < 0,001$ )

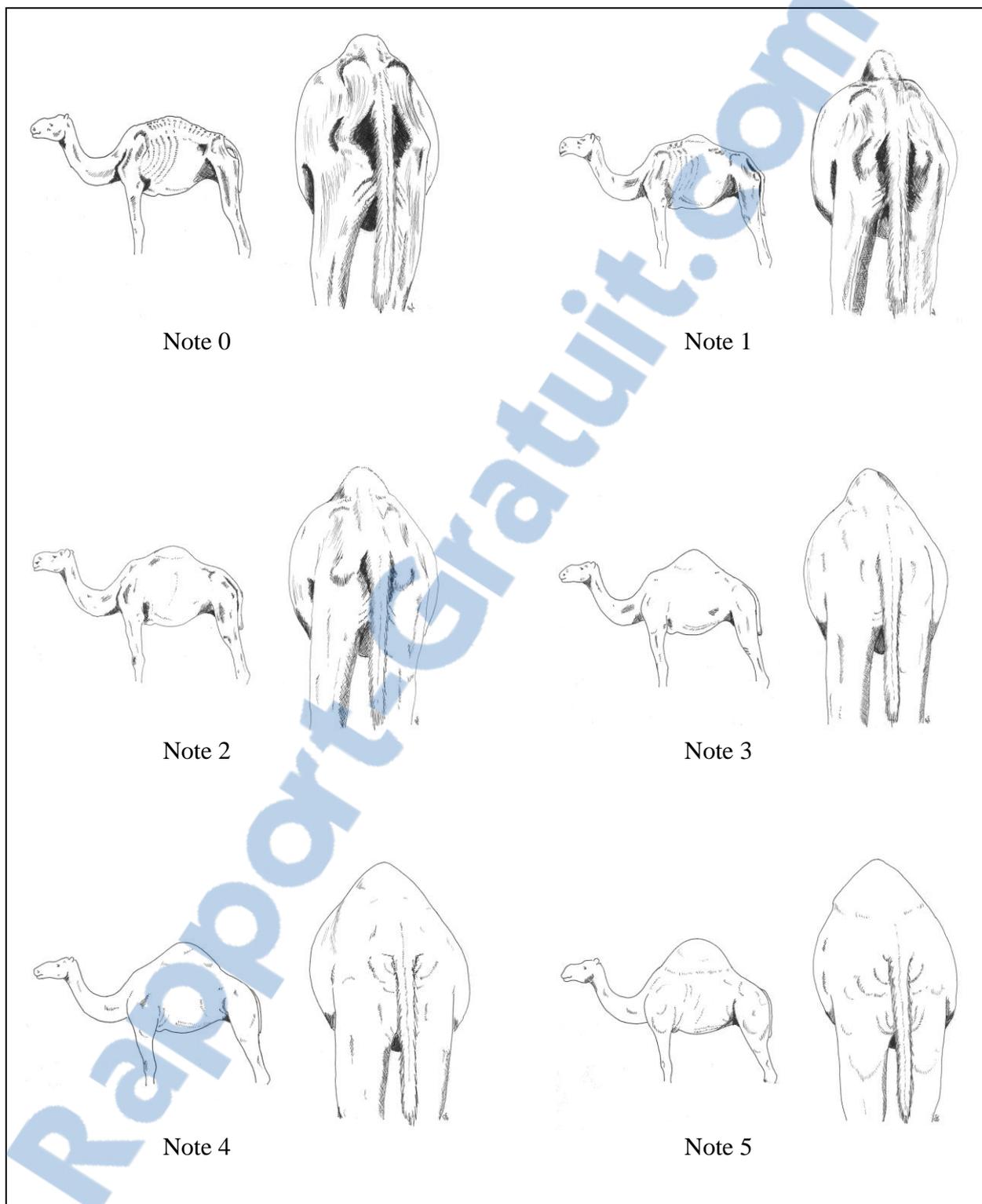
Nous avons effectué 5 mesures de bosse durant cet essai : à J0, J7, J14, 23 et J29.

### 3. Conformation et état corporel

La bosse ne serait pas le meilleur indicateur de l'état corporel des dromadaires. Une grille de notation a été mise en place au Maroc afin de l'évaluer avec plus de justesse (Faye et al., 2002). Durant cet essai, nous avons utilisé cette grille pour suivre l'état corporel de nos animaux durant les phases de déshydratation et de réhydratation. Les sites de notations, retenus par les auteurs sont : la pointe de la fesse, la pointe de l'épaule, la pointe de la hanche et l'observation de la zone ano-génitale. Les observations, notamment, du ligament sacro-tubéral, des apophyses épineuses, du creux du flanc et des côtes sont également prises en compte.

La note "0" correspond à un animal anormalement maigre et certainement peu viable. La note "5" est utilisée pour un animal très gras (Figure 15). Les animaux se situent généralement sur une échelle de notation allant de 1 à 4.

- *Note 1* : les 3 pointes citées précédemment sont très saillantes ; la zone ano-génitale est très creusée.
- *Note 2* : les 3 pointes sont saillantes ; la zone ano-génitale est creusée.
- *Note 3* : les 3 pointes sont peu saillantes ; la zone ano-génitale est peu creusée.
- *Note 4* : les 3 pointes sont invisibles ; la zone ano-génitale est pleine.



**Figure 15 :** Evaluation de l'état corporel du dromadaire (Faye et al., 2002)

A l'aide de cette grille de notation, nous avons évalué à 5 reprises l'état corporel de chaque chamelle : à J -7, J0, J14, J23 et J29.

## **IV. PRELEVEMENTS SANGUINS ET BIOPSIES**

### **1. Paramètres sanguins à doser**

Les prélèvements de sang ont été réalisés par ponction de la veine jugulaire sur des tubes Vacutainer secs ou avec anticoagulants selon les paramètres à doser.

- Pour le dosage des triglycérides (TG), des acides gras libres (AGL) et du cholestérol, le sang est prélevé sur tube sec.
- Pour le dosage du glucose et des corps cétoniques, le sang est prélevé sur tube à fluorure.
- Pour le dosage de la leptine, le sang est prélevé sur tube EDTA.
- Pour l'évaluation du taux d'hématocrite (hct), le sang est prélevé sur tube hépariné.

L'hématocrite a directement été calculé après prélèvement et centrifugation sur place. L'hématocrite, exprimé en %, correspond au rapport : Volume des hématies / Volume total du sang.

Les autres prélèvements sont immédiatement placés au réfrigérateur pendant 1h, puis centrifugés à 3000 tours par minute pendant 15 minutes. Tous les plasmas sont ensuite identifiés puis conservés au congélateur à  $-20^{\circ}\text{C}$ . Les Triglycérides, le cholestérol et le glucose ont été dosés par auto-analyseur VITROS 950 au laboratoire de biochimie du CHU de Rangueil (Toulouse). Le dosage des corps cétoniques et des acides gras libres s'est fait à l'aide d'un auto-analyseur COBAS MIRA PLUS au service de biochimie du CHU de Rangueil également. La leptine a été dosée à l'INRA de Theix par Radioimmunoassay (RIA) en utilisant le kit de dosage disponible pour les ovins (anticorps spécifiques).

D'autres paramètres sanguins ont été dosés lors de notre essai. Il s'agit des phospholipides, du glycérol, de l'insuline, du cortisol et de l'activité de la lipoprotéine lipase. Ils font l'objet d'un autre travail (Chilliard et al., 2005).

Nous avons effectué 11 séances de prélèvements durant la durée de cette expérimentation : 3 durant la phase d'adaptation, 5 durant la déshydratation et 3 en phase de réhydratation (voir tableau 3). La date JO, correspond au début de la phase de déshydratation pour le lot test. A J24, les animaux déshydratés ont reçu de l'eau à volonté, et les premiers prélèvements de la phase de réhydratation sont effectués 6h après cet abreuvement. Tous les prélèvements ont eu lieu avant le repas matinal (vers 9h) à l'exception donc de J24.

## 2. Biopsies

Durant cet essai, des biopsies de bosse ont été effectuées sur les animaux du lot test. Ces prélèvements ont eu lieu à J-3, donc 3 jours avant le début de la phase de déshydratation, et à J23, soit en fin de déshydratation. Les animaux étaient en position baraquée, ils ont reçu une injection sous-cutanée d'anesthésique local (xylocaïne). 3 échantillons de 1 cm<sup>3</sup> ont été prélevés :

- ◆ Le premier est destiné à la mesure de l'activité de la lipoprotéine lipase, il est congelé à - 20°C.
- ◆ Le second a permis le dosage des lipides totaux de la bosse. Il est également congelé à - 20°C.
- ◆ Le dernier prélèvement est réservé à l'évaluation du diamètre des adipocytes de la bosse. Ce prélèvement subi différents traitements dont une fixation dans l'acide osmique (Faye *et al*, 2001).

Ces 3 paramètres ont été dosés à l'INRA de Theix et les résultats ont été publiés par *Chilliard et al.*, (2005).

## V. PRESENTATION DES RESULTATS ET ANALYSE STATISTIQUE

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne et écart type, chaque valeur correspond à la moyenne du paramètre évaluée pour toutes les chamelles d'un des lots. La mention "FD" qui apparaît dans les tableaux (voir les annexes du manuscrit) signifie la fin de la période de déshydratation et la mention "R", le début de la réhydratation.

Pour l'analyse statistique, les moyennes de chaque paramètre ont été analysées en utilisant le test de Student bilatéral pour des mesures répétées. Nous avons procédé à des comparaisons multiples afin de définir au mieux les interactions entre les différents paramètres que sont : le lot (test ou témoin), l'état (adaptation, déshydratation, réhydratation) et l'individu (représenté par les 12 dromadaires). La valeur statistique d'interaction retenue est  $p < 0,05$ .

La présence d'un lot témoin augmente la puissance du test statistique utilisé par rapport aux essais de déshydratation précédemment réalisés dans la même espèce. Le faible nombre d'individus : 6 par lot peut apparaître comme une limite, mais le fait de posséder 12 chamelles à disposition permanente, pour les prélèvements et mesures répétés, représente déjà une belle réussite pour une expérimentation réalisée dans l'espèce cameline.



# **RESULTATS**

# I. PARAMETRES CLINIQUES

## 1. Quantité d'aliments consommés

Les quantités d'aliments consommés diminuent significativement avec la déshydratation à partir du 4<sup>ème</sup> jour. Dès le 7<sup>ème</sup> jour de déshydratation, la moyenne des refus est de 1 kg de paille /jour /animal. En fin d'essai, nous ne distribuions plus que 500 g de paille par animal et par jour (au lieu de 4 kg en phase d'adaptation). Certaines chamelles du lot déshydraté laissent même du concentré (tourteau) en refus.

La prise de nourriture se rétablit rapidement avec la réhydratation, nous n'avons plus noté de refus dès le premier jour de la phase de réhydratation.

## 2. Quantité d'eau bue

La quantité d'eau bue varie d'un jour à l'autre, elle était en moyenne, en phase d'adaptation de 14,5 l /animal /jour pour les 2 lots (tableau 5). Les animaux du lot témoin ont conservé cette quantité moyenne d'eau ingérée durant tout l'essai.

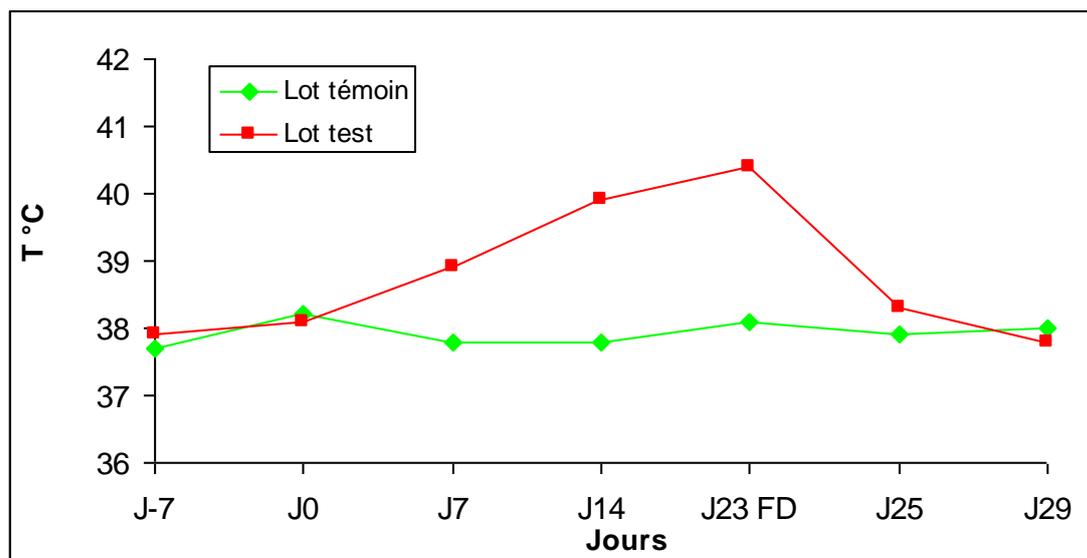
Lors de la réhydratation des dromadaires du lot test, nous avons constaté des ingestions d'eau impressionnantes. Les chamelles ont bu en moyenne 80 litres d'eau (écart type de 7,5) en moins de 5 minutes, puis 26 litres (écart type de 6,8) 24h plus tard (tableau 6). Les jours suivants, la quantité d'eau consommée est redevenue conforme à ce qu'elle était en phase d'adaptation.

	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum
Réhydratation	80	7,5	89	68
Réhydratation + 24h	26	6,8	39	20

**Tableau 6 :** Quantité moyenne d'eau bue (en litres) par les animaux du lot test suite à la réhydratation

### 3. Température rectale

La température corporelle varie significativement avec la déshydratation (figure 17 et annexe 2). Après 23 jours de privation d'eau, la température corporelle du lot test (mesurée en fin de journée à 18h) augmente de 38,2 °C à 40,4 °C pendant que celle du lot témoin reste stable aux alentours de 38 °C. Suite à la réhydratation, les animaux déshydratés récupèrent, en moins de 24h, la température corporelle qu'ils avaient en début d'essai.



**Figure 16** : Evolution de la température corporelle (°C)

### 4. Fréquences cardiaque et respiratoire

La fréquence cardiaque a diminué significativement avec la déshydratation passant de 46 à 31 battements par minute pour le groupe test (annexe 3). Celle du groupe témoin ne varie pas. Seulement 24h après la réhydratation, les animaux test ont augmenté leur fréquence cardiaque, atteignant une moyenne de 38 battements par minute.

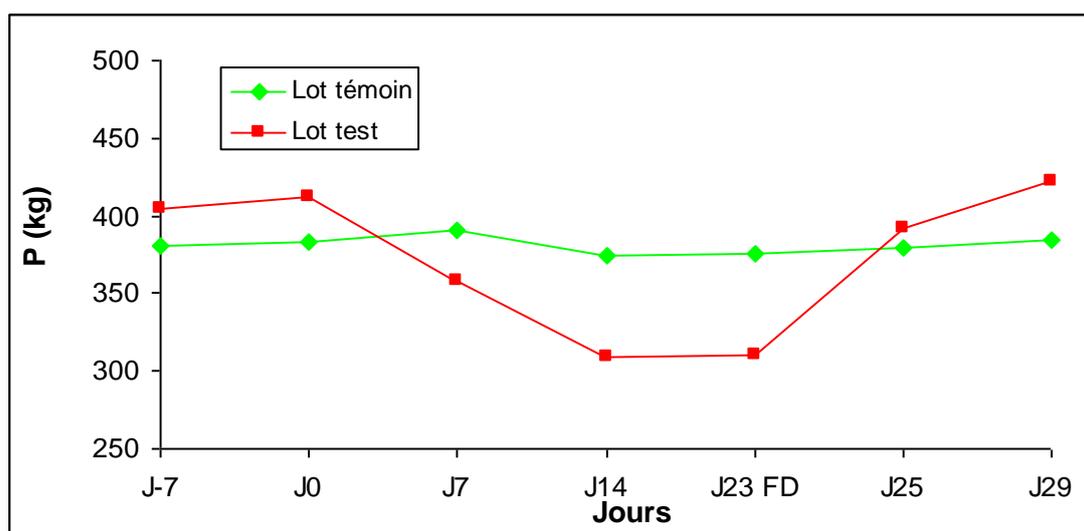
La fréquence respiratoire suit la même évolution, sa diminution est significative pour le groupe test (annexe 4). Elle passe de 12 cycles par minute à 7 cycles en fin de déshydratation. Après 5 jours de réhydratation, les chamelles du groupe test ont retrouvé leur fréquence respiratoire initiale. La fréquence respiratoire du groupe témoin n'évolue pas durant toute la durée de l'essai.

## II. EFFETS DE LA DESHYDRATATION SUR L'ETAT CORPOREL DES ANIMAUX

### 1. Poids vif des animaux

Le poids vif moyen des animaux du lot test a diminué progressivement mais significativement avec la déshydratation (figure 17 et annexe 1), il est passé de 405 kg à 310 kg après 23 jours de privation d'eau, soit une baisse de 24%. Le poids a rapidement augmenté avec la réhydratation jusqu'à 392 kg seulement 24h après l'abreuvement, soit seulement 3% de moins que le poids initial. Cette augmentation se poursuit les jours suivants. En fin de réhydratation, le poids moyen des animaux du lot test est redevenu égal au poids qu'ils avaient en phase d'adaptation.

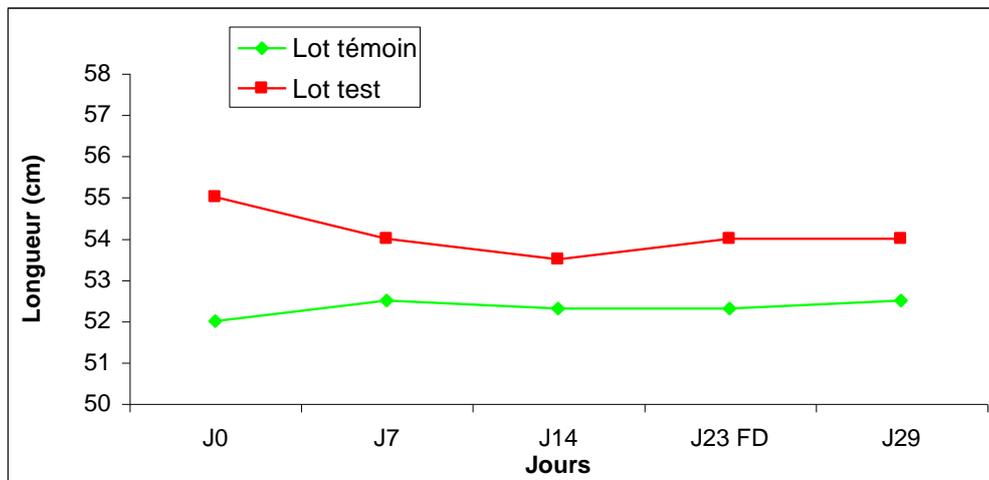
Le poids moyen des animaux témoins est resté assez stable durant la durée de l'essai. Nous avons observé une diminution entre J7 et J23, cela s'explique certainement par la diminution de la ration du lot témoin, cette diminution a été proportionnelle à la diminution d'ingestion des animaux du lot test.



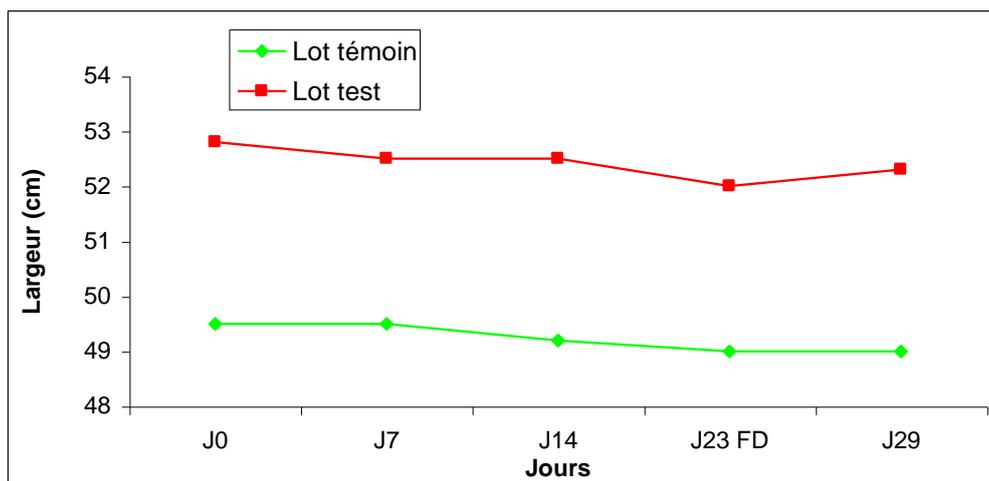
**Figure 17** : Evolution du poids vif (kg)

## 2. Mensurations de la bosse

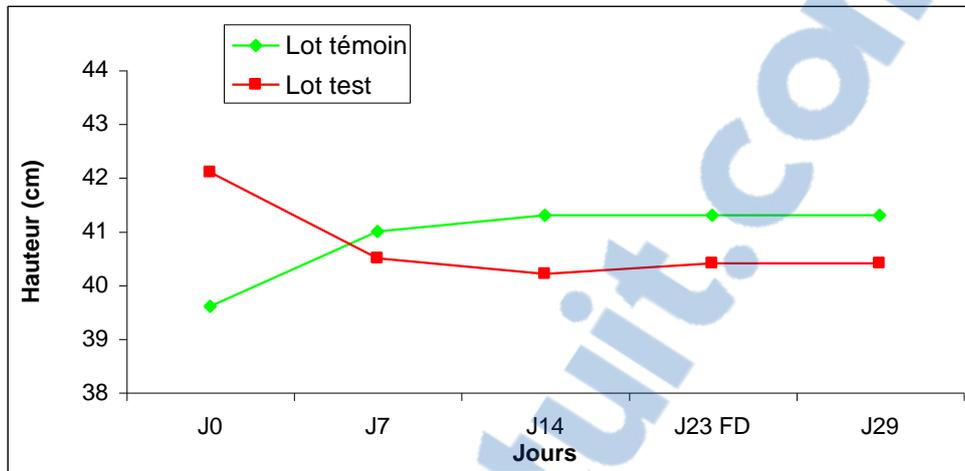
Aucune variation significative n'a pu être mise en évidence pour les différents paramètres se rapportant aux mensurations de la bosse du lot déshydraté. Longueur (figure 18 et annexe 4), largeur (figure 19 et annexe 5), hauteur (figure 20 et annexe 6) et épaisseur (figure 21 et annexe 7) n'ont pas été affectées par une privation d'eau de 23 jours. De même, une réhydratation de 5 jours ne fait pas apparaître d'effets significatifs.



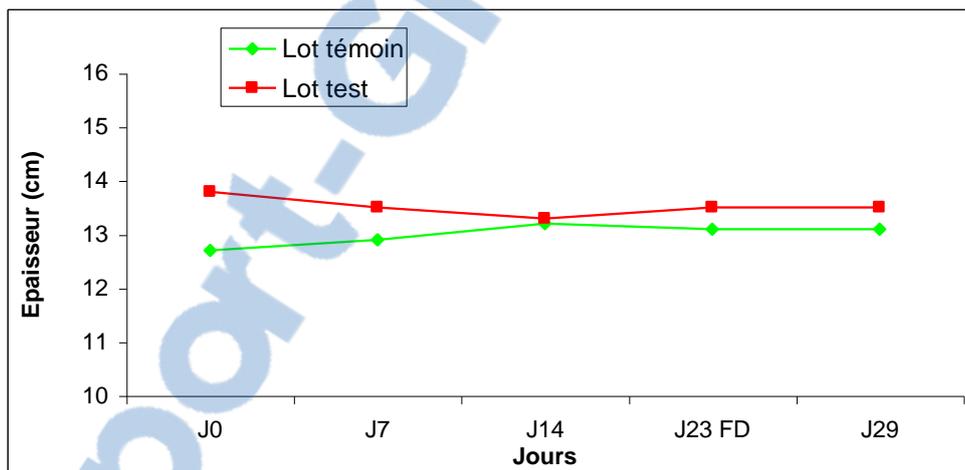
**Figure 18 :** Evolution de la longueur de la bosse (cm)



**Figure 19 :** Evolution de la largeur de la bosse (cm)



**Figure 20** : Evolution de la hauteur de la bosse (cm)



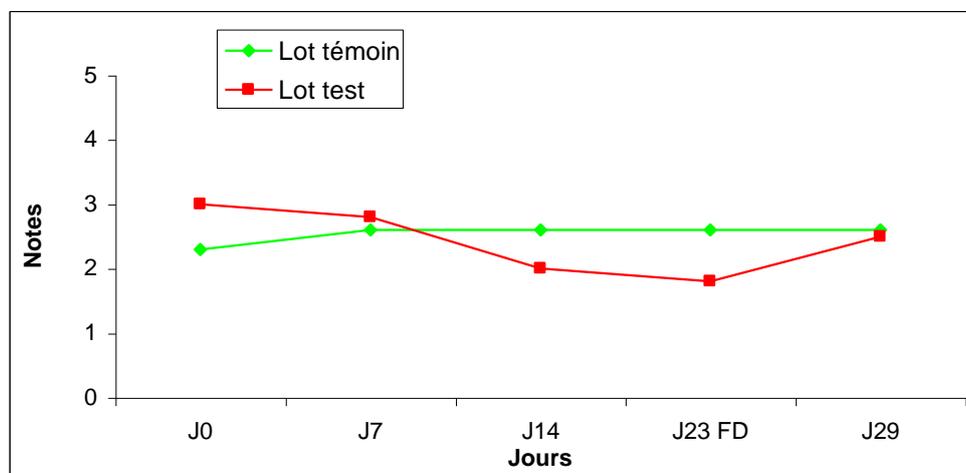
**Figure 21** : Evolution de l'épaisseur (cm)

### 3. Poids et volume de la bosse

Le volume (V) et le poids (P) de la bosse étant défini par des formules dépendantes des mensurations de la bosse (partie III.2 du protocole expérimental) ; nous déduisons que ni le poids, ni le volume de la bosse n'ont été influencés par une privation d'eau de 23 jours.

#### 4. Conformation et état corporel

La déshydratation a eu un effet significatif sur la conformation des chamelles déshydratées (figure 22 et annexe 8). En 23 jours de déshydratation, elles perdent 1,2 points passant d'une note moyenne de 3 à 1,8. L'effet de la déshydratation est devenu visible à partir de J14. Après 5 jours de réhydratation, les chamelles n'ont pas retrouvé leur état conformation initiale, mais l'amélioration est significative.

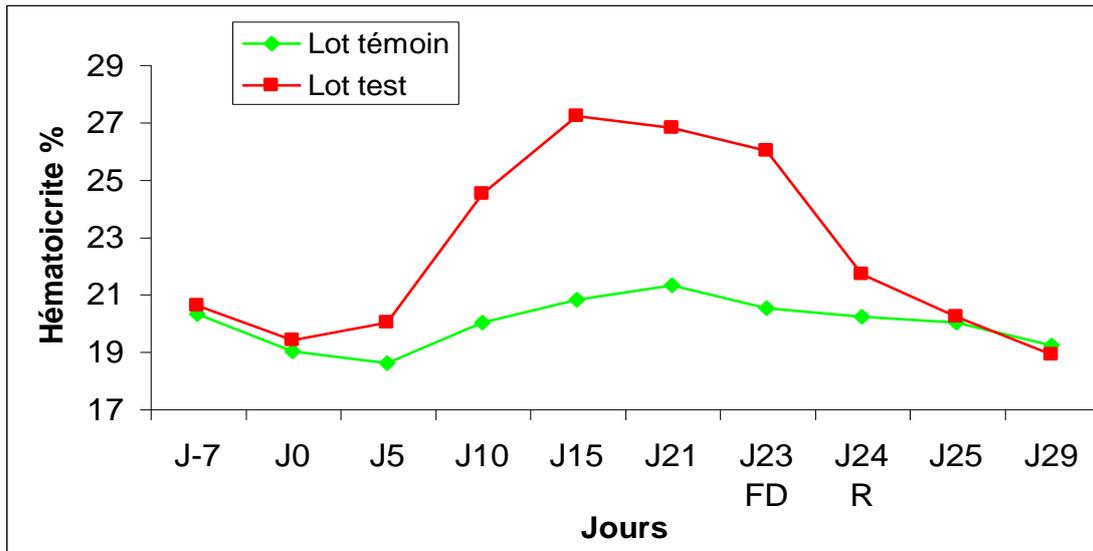


**Figure 22** : Evolution de la note corporelle

### III. EFFETS DE LA DESHYDRATATION SUR LES PARAMETRES SANGUINS

#### 1. Hématocrite

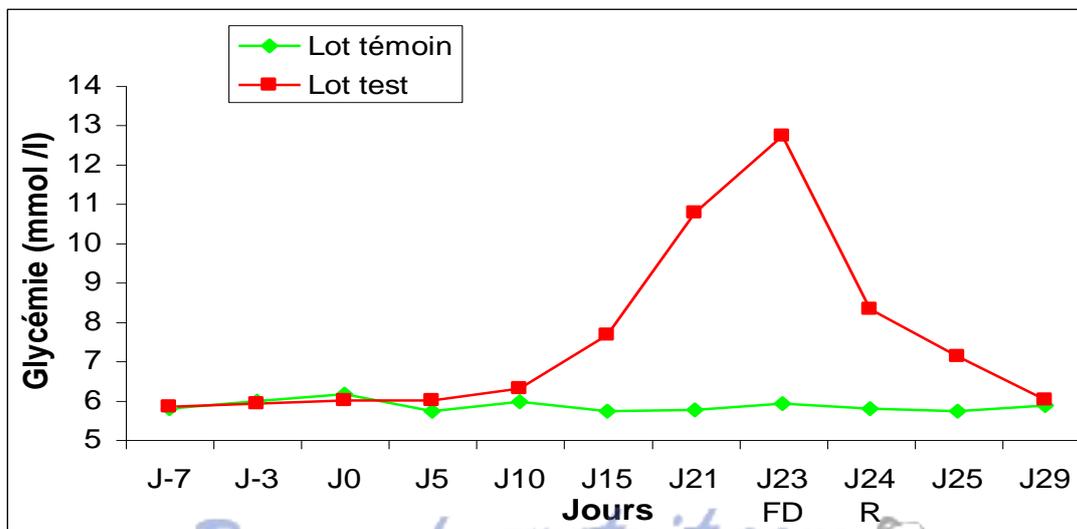
L'hématocrite ne varie pas jusqu'à J5 pour les 2 lots, ensuite il augmente significativement pour le lot déshydraté (figure 23 et annexe 9). Au 10<sup>ième</sup> jour de la déshydratation, l'augmentation est proche de 25% pour le lot test (l'hématocrite est à 24,5%), celle-ci se poursuit jusqu'au 15<sup>ième</sup> jour, puis l'hématocrite se stabilise. Lors de la réhydratation, les chamelles retrouvent pratiquement leur hématocrite initial en seulement 24h.



**Figure 23** : Evolution de l'hématocrite (%)

## 2. Glycémie

La glycémie augmente significativement avec la déshydratation (figure 24 et annexe 10). Elle passe de 6,00 mmol /l à 12,72 mmol /l après 23 jours de privation d'eau, soit une élévation de 112%. Elle diminue rapidement suite à la réhydratation, et retrouve son niveau initial au 5<sup>ème</sup> jour d'abreuvement. La glycémie du lot témoin reste stable durant tout l'essai (entre 5,5 et 6 mmol /l).



**Figure 24** : Evolution de la glycémie (mmol/l)

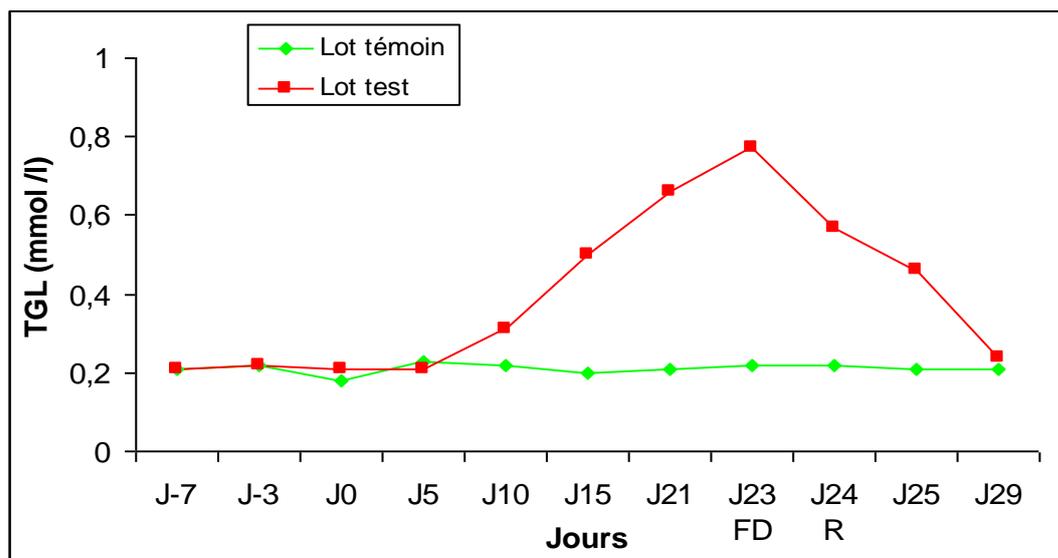
### 3. Lipides

#### 3.1 Cholestérol

L'évolution de la cholestérolémie est difficilement interprétable (annexe 11). En effet, durant tout l'essai, la cholestérolémie des animaux du lot témoin est restée sous le seuil de détection (1,16 mmol /l). Il en a été de même pour la cholestérolémie du lot test en phase d'adaptation. Cependant, la cholestérolémie tendrait vers une augmentation durant la phase de déshydratation. Après 23 jours de privation d'eau, la cholestérolémie moyenne du lot test atteint 3,01 mmol /l. Après 5 jours de réhydratation, la cholestérolémie redescend à 1,21 mmol /l.

#### 3.2 Triglycérides

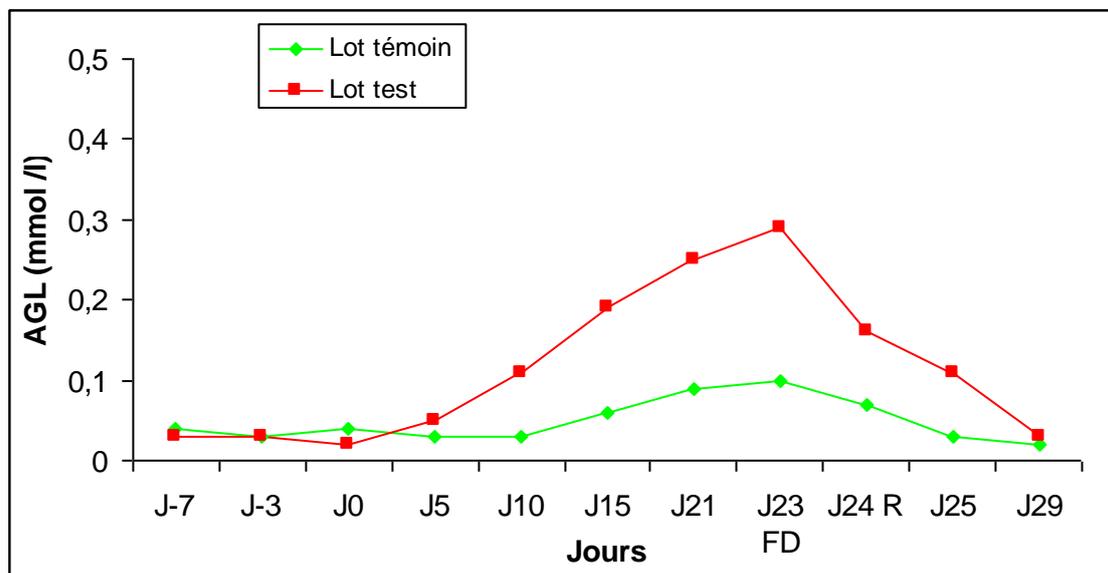
Les 23 jours de privation d'eau ont entraîné une augmentation nette et significative de la triglycéridémie du lot test (figure 25 et annexe 12). Elle augmente de plus de 260%, passant de 0,21 mmol /l à 0,77 mmol /l. Suite à 5 jours de réhydratation la triglycéridémie retrouve sa valeur initiale. Le taux de triglycérides circulants du lot témoin n'évolue pas.



**Figure 25** : Evolution de la triglycéridémie (mmol /l)

### 3.3 Acides gras libres

La concentration sérique des acides gras libres du groupe test augmente significativement avec la déshydratation, passant de 0,02 mmol /l à 0,29 mmol /l, ce qui représente une augmentation de 1300% (figure 26 et annexe 13). Ce résultat doit être un peu tempéré car plusieurs prélèvements avaient une concentration inférieure au seuil de détection (0,01 mmol /l). La concentration sérique du lot témoin augmente également, mais de façon non significative. Suite à la réhydratation de 5 jours, les chameilles déshydratées retrouvent les concentrations sériques initiales en acides gras libres (0,03mmol /l).



**Figure 26** : Evolution de la concentration sérique en acides gras libres (mmol /l)

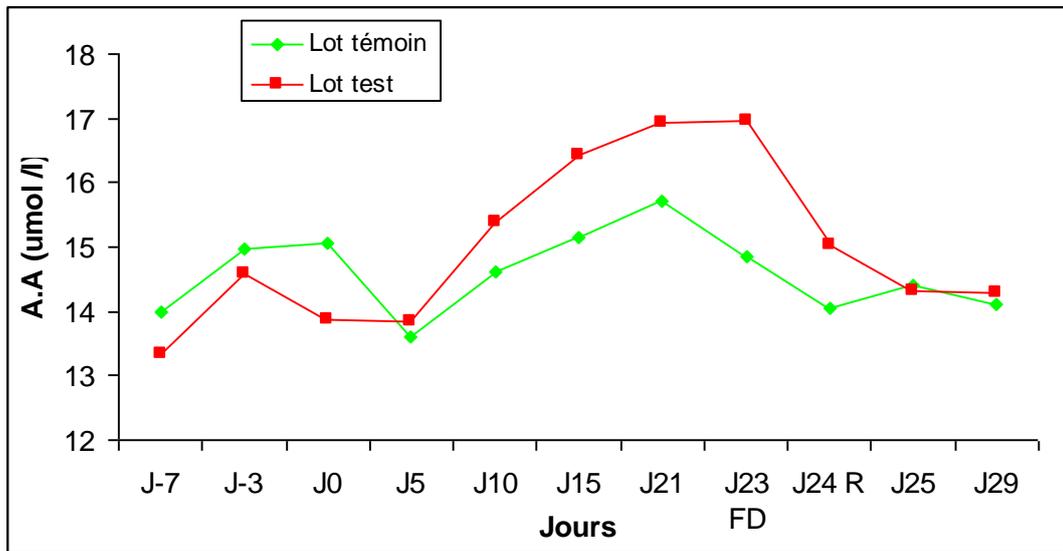
## 4. Corps cétoniques

Les concentrations plasmatiques d'acéto-acétate et de  $\beta$ -hydroxybutyrate sont très faibles chez le dromadaire.

### ◆ Acéto-acétate

La concentration plasmatique de l'acéto-acétate pour les dromadaires normalement hydratés et alimentés est comprise entre 13 et 15,5  $\mu\text{mol /l}$  (figure 27 et annexe 14). Cette

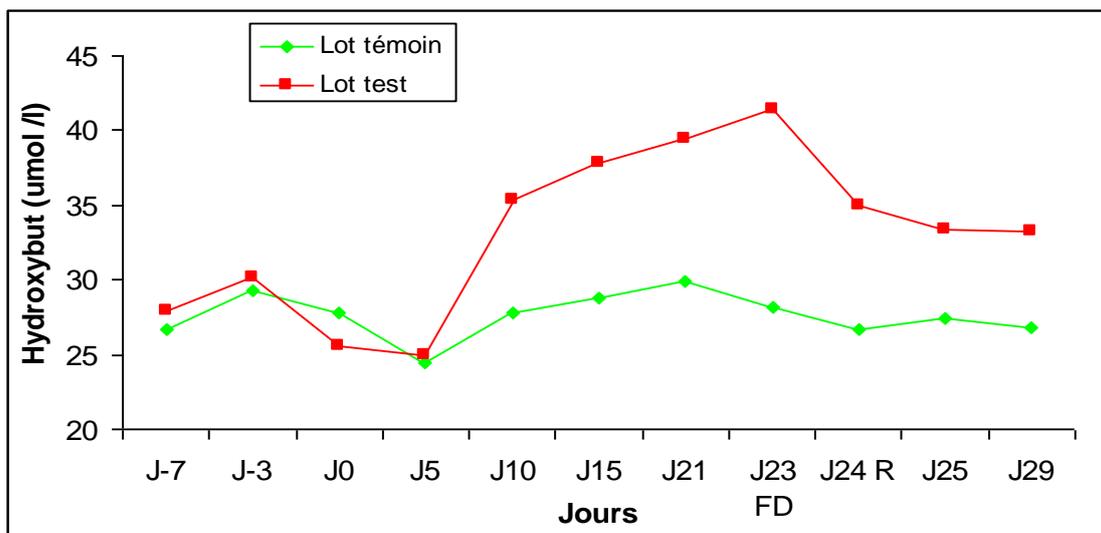
concentration va évoluer de façon parallèle pour les 2 lots. La déshydratation suivie d'une réhydratation n'aurait donc pas d'effet sur la concentration plasmatique en acéto-acétate.



**Figure 27** : Evolution de la concentration plasmatique d'acéto-acétate (µmol /l)

#### ◆ $\beta$ -hydroxybutyrate

La concentration plasmatique en  $\beta$ -hydroxybutyrate, des dromadaires normalement alimentés et hydratés est comprise entre 27 et 33 µmo /l (figure 28 et annexe 15). Nous notons une évolution parallèle des concentrations pour les 2 groupes. La déshydratation de 23 jours suivie d'une réhydratation n'aurait pas d'effet significatif sur la concentration plasmatique en  $\beta$ -hydroxybutyrate.



**Figure 28** : Evolution de la concentration plasmatique de  $\beta$ -hydroxybutyrate (µmol /l)



# **DISCUSSION**

# I. METHODOLOGIE

## 1. Les animaux

Les chamelles de notre étude sont originaires des provinces sud du Maroc. Elles ont été ramenées à Ain Jmaa (Casablanca), il y a une dizaine années. Elles présentaient toutes le même stade physiologique (aucune gestante, aucune en lactation), avec un âge variant de 10 à 15 ans. L'étude a été réalisée au centre d'insémination artificielle d'Ain Jmaa qui se prêtait bien à cet essai par la disponibilité des infrastructures et du matériel nécessaire à la manipulation et la conservation des échantillons, par la présence du personnel du centre ainsi que par sa proximité de l'I.A.V Hassan II (Rabat).

A notre arrivée à Ain Jmaa, les animaux présentaient de grandes différences au niveau de leur état corporel et de leur état d'hydratation. Pour minimiser les écarts entre individus, nous avons pratiqué une période d'adaptation d'une durée d'un mois, pendant laquelle les animaux ont été abreuvés et alimentés en fonction de leurs besoins individuels. Les 12 chamelles ont été réparties en 2 lots homogènes de 6 : le lot test (dont les animaux ont été privés d'eau durant 23 jours) et le lot témoin. L'originalité de notre essai réside dans la présence d'un lot témoin. Les travaux de Yagil (1985) ou de Bengoumi (1992) ne comprenaient qu'un seul lot composé de dromadaires subissant l'épreuve de déshydratation.

Le climat à Ain Jmaa étant assez éloigné de l'aridité dans laquelle le dromadaire a l'habitude de vivre, nous avons rallongé la période de déshydratation, les dromadaires ont été privés d'eau pendant 23 jours et nous les avons entravés au soleil toute la journée. Les précédents essais de déshydratation sur le dromadaire s'étaient sur une période allant de 10 jours (Yagil, 1985) à 14 jours (Bengoumi, 1992). Un examen clinique était régulièrement réalisé sur les animaux afin de vérifier leur état de santé. Le taux d'hématocrite étant le reflet de l'état d'hydratation d'un individu, nous avons fixé une limite maximale du taux d'hématocrite à ne pas dépasser (35 %). L'état corporel des animaux du lot test s'est dégradé (diminution nette du poids vif, figure 17 et les chutes des notes de conformation, figure 22) au fur et à mesure de l'avancement de la déshydratation, mais aucun animal n'a présenté de signe reflétant une quelconque atteinte grave de son état général. Les dromadaires étant habitués à

parcourir de grandes distances dans une même journée, la situation immobile, imposée par notre essai, a occasionné une certaine nervosité et des œdèmes articulaires chez certains animaux.

## **2. Les mesures et prélèvements**

Nous avons évalué le poids vif et la température corporelle des animaux à 7 reprises et les mensurations de la bosse à 5 reprises. Ces mesures ont été réalisées aux moments clés de notre essai : 1 ou 2 mesures (selon le paramètre) en phase d'adaptation, 3 mesures durant la déshydratation et 1 ou 2 mesures durant la réhydratation.

Dans la littérature, les essais de déshydratation sur dromadaires comprennent souvent uniquement des prélèvements en fin de déshydratation (Yagil, 1985). Bengoumi (1992) fut le premier à réaliser des prélèvements sanguins réguliers pour suivre la déshydratation des dromadaires. Nous avons opté pour un protocole proche de celui de Bengoumi (1992).

Les prélèvements effectués en phase d'adaptation, à J-7, J-3 et même J0, nous ont permis de montrer que les 2 groupes étaient homogènes au départ pour l'ensemble des paramètres sanguins mesurés. En phase de déshydratation, les prélèvements ont été effectués tous les 5 jours de J0 à J15, puis nous avons réalisé 2 séances de prélèvements rapprochées en fin de déshydratation. En phase de réhydratation, nous avons prélevé le sang 6 heures après le premier abreuvement, puis 24h après et 5 jours après.

Après identification, les échantillons plasmatiques ont été immédiatement placés à – 20°C, et maintenus congelés jusqu'à analyse. Tous les paramètres plasmatiques ont été dosés au laboratoire de biochimie du CHU de Toulouse-Rangueil. Compte tenu de la faiblesse des concentrations plasmatiques du cholestérol, des triglycérides, des acides gras libres et des corps cétoniques, les seuils de détection des techniques de dosage ont été déterminés. Les échantillons de gras prélevés sur la bosse, qui ont servi au dosage des lipides totaux, au comptage des adipocytes et au dosage de l'activité de la lipoprotéine lipase, ont été analysés à l'INRA de Theix.

## II. PARAMETRES CLINIQUES

### 1. Quantité d'aliments consommés

La quantité d'aliments consommés par les dromadaires du lot test a diminué avec l'avancement de la déshydratation. Au 23<sup>ème</sup> et dernier jour de privation d'eau, l'ingestion de certains animaux étaient quasiment nulle. Toure (2001) notait qu'une sous-nutrition de 21 jours entraînait une augmentation de la concentration sérique en acides gras libres (de 0,05 à 0,3 mmol /l) et en triglycérides (de 0,17 à 0,43 mmol /l) et une diminution de la glycémie (de 5,7 à 4,7 mmol /l). A la lumière de ces informations, il est clair que les refus du lot test ont une influence sur le métabolisme énergétique. Afin de limiter les interférences entre effets de la déshydratation et effets d'une sous-nutrition lors de notre essai, nous avons diminué les rations du lot témoin proportionnellement aux refus quotidiens du lot test.

Cette diminution nette d'ingestion, en phase de déshydratation, confirme les écrits de Bengoumi (1992) mais contredisent ceux de Yagil (1985) qui n'avait pas observé de diminution de la quantité d'aliments ingérés lors d'une déshydratation de plus de 30%, cependant lors de son essai, Yagil avait privé les dromadaires d'eau durant 10 jours, alors que dans notre essai la période de privation est de 23 jours. Cette différence dans la durée de la période de déshydratation pourrait expliquer les divergences de résultats. Dès les premières heures de la réhydratation, tous les animaux du lot test ont récupéré leur appétit. Nous pouvons supposer que cette diminution d'ingestion est en relation directe avec la diminution générale du métabolisme de base du dromadaire déshydraté. Ainsi, nous pouvons faire l'hypothèse que notre animal pourrait économiser l'eau nécessaire à la digestion et à la dégradation des aliments. Le jeûne observé chez les dromadaires déshydratés serait une attitude correspondant à un besoin physiologique d'économie d'eau. Le comportement du dromadaire réhydraté va, d'ailleurs, dans le sens de cette théorie : dans les minutes suivant le premier abreuvement, tous les animaux du lot test se sont mis à chercher de la nourriture alors qu'ils ne s'alimentaient quasiment plus depuis plusieurs jours.

## **2. Quantité d'eau bue**

Les quantités d'eau bue par les chamelles en phase d'adaptation étaient pour les 2 lots de 14,5 l par jour et par animal, avec de grandes variations entre les individus. Ces quantités d'eau sont inférieures aux besoins moyens en eau du dromadaire évalués à 5 litres /100 kg de PV (Faye, 1997). De même, Bengoumi (1992) avait noté des quantités moyennes d'eau bue par chamelle et par jour comprise entre 18 et 20 litres. Nos résultats sont donc inférieurs à ceux habituellement rencontrés dans la littérature, ceci s'expliquant, peut-être, par la relative douceur du climat du lieu d'étude.

Dans cet essai, les quantités d'eau bue par les dromadaires lors de la réhydratation se rapprochent de celles de Bengoumi (1992). Nous avons relevé une moyenne de 80 litres d'eau bue en une seule prise après 23 jours de privation d'eau, Bengoumi notait une moyenne de 74 litres après 14 jours de déshydratation. Chez la plupart des espèces, un abreuvement aussi rapide provoque un afflux d'eau massif dans le système sanguin, conduisant à une dilution du milieu extra-cellulaire (hypotonicité) susceptible de causer l'éclatement des hématies et par conséquent la mort des individus ainsi réhydratés (Faye, 1997). Le dromadaire, quant à lui, possède des hématies extrêmement résistantes à l'hypotonicité, cette résistance est expliquée par l'originalité de la composition de leur membrane cellulaire.

Dés le 3<sup>ième</sup> jour de réhydratation, les abreuvements des animaux tests sont revenus aux valeurs observées durant la phase d'adaptation. Ces résultats suggèrent qu'en seulement 2 abreuvements, les dromadaires auraient récupéré le manque d'eau accumulé durant 23 jours.

## **3. Température rectale**

La température rectale du soir augmente avec la déshydratation chez les animaux du lot test. L'augmentation de la température corporelle du soir a également été rapportée par Schmidt-Nielsen (1957), Yagil (1985), et Bengoumi (1992). La concordance de ces résultats nous permet d'affirmer que le dromadaire déshydraté augmente sa température corporelle aux heures chaudes de la journée proportionnellement à son degré de déshydratation.

La mesure de la température rectale du matin nous aurait permis de connaître la variation de l'écart entre la température du matin et celle du soir. Cette variation de température corporelle au cours de la journée permet au dromadaire déshydraté de réduire les pertes hydriques nécessaires à la thermorégulation.

#### **4. Fréquences cardiaque et respiratoire**

Ces 2 paramètres ont diminué chez les animaux déshydratés, confirmant ainsi les résultats de Schmidt-Nielsen et al. (1967), Yagil (1978) et Bengoumi (1992). La diminution de la fréquence respiratoire permet de réduire les pertes en eau par évaporation pulmonaire, et de limiter la production de chaleur issue de l'oxydation cellulaire.

Ces résultats confirment la diminution du métabolisme de base chez le dromadaire déshydraté. Cette diminution des "paramètres vitaux" associée à la diminution d'ingestion donne l'impression que le dromadaire déshydraté se met en "pause physiologique", économisant tout, jusqu'au moindre souffle d'air, en attendant des jours meilleurs.

### **III. EFFETS DE LA DESHYDRATATION SUR L'ETAT CORPOREL**

#### **1. Poids vif des animaux**

Le poids des animaux a diminué progressivement avec la déshydratation; cette diminution a atteint 24% après 23 jours de privation d'eau. Après 5 jours de réhydratation, les animaux ont totalement récupéré leur poids initial. Cette récupération rapide du poids initial laisse supposer que la diminution du poids vif est essentiellement due aux pertes en eau accumulées durant les 23 jours de déshydratation.

Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux de Bengoumi (1992) qui avait bien observé une perte du poids vif de l'ordre de 35% après 14 jours de déshydratation, mais malgré la réhydratation, les animaux n'avaient pas récupéré leur poids vif initial.

## **2. Evolution de la bosse**

La taille de la bosse ne varie pas avec la privation d'eau. En effet, aucun des paramètres mesurés n'a évolué de façon significative. Ces observations confirment celles relevées par Yagil (1985), Wilson (1989) et Bengoumi (1992). La bosse ne serait donc pas un bon site pour évaluer l'état général et corporel des dromadaires. Les dromadaires déshydratés ont perdu près d'un quart de leur poids vif et pourtant leurs bosses, qui rassemblent plus de 50% de leurs réserves énergétiques, ne diminuent pas. Ces résultats confirmeraient les écrits de Faye (2002) qui signalait que la taille de la bosse serait plus l'expression phénotypique de facteurs génétiques que l'expression d'un état corporel plus ou moins bon.

Cependant, les résultats des biopsies de bosse pratiqués lors de notre essai (résultats exploités par Chilliard *et al.*, 2006) ont montré une diminution des lipides totaux de la bosse de 3%, mais aucune diminution du volume des adipocytes. Ainsi, même si la bosse n'évolue pas en volume et en masse, il semblerait que ses lipides soient mobilisés lors de la déshydratation.

## **3. Conformation et état corporel**

La conformation, reflétant l'état corporel des dromadaires, a été évaluée en utilisant la grille de notation mise en place pour cette espèce par Faye *et al.* (2002). La déshydratation puis la réhydratation ont donc eu un effet significatif sur ce paramètre. Les chamelles affaiblies et marquées par 23 jours de privation d'eau ont perdu plus d'un point (passant d'une note moyenne de 3 à une moyenne de 1,8) sur une échelle de notation qui va de 0 à 5.

Ces résultats vont dans le sens de Faye *et al.* (2002) puisque les principaux sites anatomiques qu'ils avaient retenu pour évaluer l'état corporel du dromadaire, pointes de la fesse, pointe de la hanche, pointe de l'épaule et la zone ano-génitale, nous ont permis de constater cette diminution d'état corporel, alors que l'observation et la mesure de la seule bosse ne nous a fourni aucune information significative. Ces résultats sur l'évolution de l'état corporel des animaux sont toutefois à nuancer car la notation établie par un seul expérimentateur revêt forcément un côté subjectif.

## **IV. EFFETS DE LA DESHYDRATATION SUR LES PARAMETRES SANGUINS**

### **1. Hématocrite**

Le taux d'hématocrite moyen des animaux en phase d'adaptation est légèrement supérieur à 20% pour les 2 lots. Ces valeurs sont inférieures à celles relevées par Bengoumi (1992) qui notait une valeur moyenne de 30% pour des dromadaires normalement hydratés.

L'hématocrite des animaux du lot test augmente après 5 jours de privation d'eau pour atteindre une valeur maximale de 28% après 15 jours de privation d'eau. Cette valeur se stabilise ensuite malgré l'avancement de la déshydratation. La réhydratation a permis un rapide retour à l'hématocrite initial. Bengoumi (1992) avait relevé une augmentation de 8% de l'hématocrite après 14 jours de privation d'eau. Il semblerait donc que le dromadaire déshydraté n'augmente pas son taux d'hématocrite de plus d'un tiers. L'augmentation de sa valeur est due à la diminution du volume plasmatique consécutive à la déshydratation. Le transfert d'eau cellulaire vers le plasma assurerait donc le contre-poids de la déshydratation à partir du 15<sup>ème</sup> jour, et permettrait au dromadaire de conserver son hématocrite et par conséquent un volume plasmatique minimum stable. Nous pouvons émettre l'hypothèse de l'existence d'un mécanisme de régulation du transfert de cette eau cellulaire chez le dromadaire déshydraté, ce qui lui permettrait de ne pas dépasser une valeur critique du taux d'hématocrite, certainement mortelle.

### **2. Glycémie**

La glycémie augmente fortement avec la déshydratation. Nos résultats sont en accord avec ceux de Bengoumi (1992) qui relevait une augmentation de 160% de la glycémie après 14 jours de déshydratation, Yagil et al. (1977) et Berlyne et al. (1978) avaient aussi observé des valeurs semblables. Cette augmentation de 112% de la glycémie des animaux du lot test, ne peut être attribuée uniquement à l'hémoconcentration qui atteint 35% au 15<sup>ème</sup> jour de déshydratation. Yagil (1977) avait observé une diminution de 30% de l'insulinémie chez des

dromadaires privés d'eau pendant 10 jours. La baisse de l'insulinémie entraîne une hyperglycémie par diminution de l'utilisation du glucose consécutive à la levée de l'inhibition des enzymes de la glycogénolyse et de la néoglucogénèse d'une part, et à l'inhibition des enzymes de la glycolyse et de la glycogénogénèse d'autre part.

### **3. Lipides**

La privation d'eau entraîne une hyperlipémie chez le dromadaire : augmentation très significative des concentrations sériques des triglycérides et des acides gras libres et tendance à la hausse du cholestérol (même si ces résultats ne sont pas significatifs à cause du seuil de détection de la cholestérolémie). La taille de la bosse n'a pas évolué durant cet essai, mais une mobilisation des lipides de celle-ci a pourtant eu lieu. Les biopsies opérées avant et après la déshydratation sur les animaux du lot test montrent une diminution de 3% des lipides totaux de la bosse (Chilliard et al., 2006). Cependant, cette importante hyperlipémie ne peut trouver une explication plausible dans la seule mobilisation des réserves énergétiques de la bosse. Il est fort probable que les lipides tissulaires et notamment ceux du foie soient mobilisés. Charnot (1967) avait observé que la privation d'eau engendre une élévation de la cholestérolémie et une diminution de la teneur hépatique en lipides. Bengoumi (1992) avait observé une hyperlipémie généralisée suite à une déshydratation de 14 jours, avec augmentation des concentrations sériques du cholestérol, des triglycérides, des acides gras libres et des phospholipides. Par contre Mahmud et al. (1984) n'ont pas rapporté de variation significative des valeurs lipidiques lors d'une épreuve de déshydratation.

### **4. Corps cétoniques**

La privation d'eau et la réhydratation n'ont pas eu d'influence significative sur les concentrations plasmatiques d'acéto-acétate et de  $\beta$ -hydroxybutyrate. Bengoumi (1992) n'avait pu observer de variations sériques des corps cétoniques, et avait relié cet état à la faible cétogénèse du dromadaire (Emmanuel, 1980).

Dans notre essai, nous avons pu faire un relevé précis de la concentration sérique des corps cétoniques. Ainsi, les valeurs établies pour les chamelles de notre essai pourront servir de bases de comparaisons pour de futures recherches sur le métabolisme du dromadaire.

## **5. Réduction des pertes hydriques et régulation métabolique**

Le dromadaire déshydraté est confronté à 2 contraintes : la réduction de ses pertes hydriques et le maintien de son équilibre métabolique. Il résiste à une déshydratation de 23 jours grâce aux mécanismes que nous avons énoncés au début ce manuscrit et dont certains ont été mis en évidence durant notre essai :

- Chute du débit urinaire et forte concentration de l'urine.
- Emission de selles beaucoup plus sèches.
- Abaissement du métabolisme de base et diminution de la fréquence respiratoire
- Variation de la température corporelle selon la température ambiante.
- Positionnement face au soleil pour diminuer l'impact des rayons solaires sur son corps.
- Diminution générale de son activité (ingestion, déplacements) afin de ne pas dépenser d'eau pour autre chose que sa survie.

Certains constituants sériques ont fortement été influencés par la déshydratation puis par la réhydratation. Il s'agit du glucose, des acides gras libres et des triglycérides. Les augmentations que nous avons observées durant la phase de déshydratation, ne peuvent être uniquement le fait de la diminution du volume plasmatique et donc de l'hémoconcentration dont l'augmentation de l'hématocrite atteste.

L'hyperglycémie est due à l'hypo-insulinémie qui inhibe l'utilisation du glucose et favorise sa biosynthèse (Yagil et al., 1977). Cette particularité du dromadaire déshydraté à maintenir une hyperglycémie et une hypo-insulinémie favorise la diminution du métabolisme de base.

Cette hyperglycémie est associée à une hyperlipémie. La taille de la bosse n'a pas été affectée par la déshydratation, ce qui est confirmé par la stabilité du volume des adipocytes. Cependant, la légère, mais significative, mobilisation des lipides de la bosse (de l'ordre de 3%) atteste que la réserve lipidique de la bosse n'a pas été métaboliquement inactive durant notre essai. L'importance de cette hyperlipémie, ne pouvant s'expliquer par la seule mobilisation du gras de la bosse, il est probable que des lipides tissulaires et notamment des lipides hépatiques soient mobilisés durant la phase déshydratation. Les voies métaboliques de dégradation et de régulation de lipides sont encore mal connues chez le dromadaire. En effet, l'hypo-insulinémie constatée chez le dromadaire déshydraté va dans le sens d'une lipomobilisation (Yagil, 1980), alors que la diminution de la concentration de la thyroxine libre devrait entraîner une lipogénèse (Yagil, 1978 et Bengoumi, 1992). D'autre part, nous avons constaté dans cet essai, une augmentation rapide de la leptinémie en phase de déshydratation, puis son rétablissement après réhydratation ; ainsi s'il est confirmé que la sécrétion de leptine par les adipocytes répond positivement à une privation d'eau, nous pourrions envisager son rôle dans la lipomobilisation observée chez le dromadaire déshydraté.



## CONCLUSION

Durant cet essai de déshydratation-réhydratation, les dromadaires ont résisté à une privation d'eau de 23 jours, aucun d'entre eux n'a développé de pathologie ou présenté de problèmes physiologiques liés à cette déshydratation. Les dromadaires déshydratés ont augmenté leur température corporelle du soir en fonction de l'avancement de la déshydratation, ils ont diminué leur ingestion alimentaire et ils ont abaissé leurs fréquences cardiaque et respiratoire. Au niveau physique, cette déshydratation s'est accompagnée d'une dégradation de l'état corporel des animaux mise en évidence par la diminution du poids vif et des notes de conformation ; la bosse, quant à elle, n'a pas évolué même si une légère mobilisation des lipides y a été observée. La réhydratation a permis le rétablissement très rapide de ces paramètres. Lors de la réhydratation, les animaux privés d'eau ont ingéré des quantités d'eau très importantes en un seul abreuvement (avec une moyenne de 80 litres d'eau bue par animal).

Au niveau des paramètres sanguins mesurés, l'élévation du taux d'hématocrite puis sa stabilisation nous ont permis d'émettre l'hypothèse d'une régulation fine du volume plasmatique du dromadaire déshydraté. L'hyperlipémie, visible par la nette augmentation des concentrations sériques en acides gras libres et triglycérides, ainsi que l'hyperglycémie confirment notamment les observations de Bengoumi (1992). La réhydratation a entraîné un rétablissement rapide des valeurs initiales. Les lipides de la bosse n'étant que peu mobilisés, l'origine de cette mobilisation n'est pas encore élucidée, il nous paraît judicieux qu'un prochain essai de déshydratation sur des dromadaires prenne en compte le possible rôle du foie dans cette lipomobilisation, au moyen de biopsies sur les animaux déshydratés (technique mise au point au Maroc, Cherrier et al., 1991).

Si ce travail apporte quelques réponses à un certain nombre de questions, beaucoup de problèmes concernant la physiologie du dromadaire restent encore posés au terme de cette étude. Le dromadaire déshydraté est dans un état physiologique surprenant, présentant d'étranges similitudes avec l'état torpeur de certains mammifères ou d'une diapause chez les insectes : diminution du métabolisme basal, diminution de l'ingestion qui devient quasiment nulle, variation de la température corporelle, concentration des urines. Son organisme entier

se tourne vers l'économie d'eau. C'est la régulation et le déterminisme du passage à cet état physiologique qui nous reste à élucider. La privation d'eau déclenche des réactions en cascade dans l'organisme du dromadaire, nous en avons observé quelques unes comme l'hyperlipémie, l'hyperglycémie, la diminution du métabolisme de base. Cependant, pour aller plus loin dans la compréhension de la physiologie du dromadaire déshydraté, nous préconisons la réalisation d'autres essais de déshydratation s'intéressant spécifiquement aux hormones du métabolisme énergétique (leptine, lipoprotéine lipase, insuline, glucagon, thyroxine et  $\beta$ -agonistes).

Rapport-Gratuit.com

**AGREMENT ADMINISTRATIF**

Je soussigné, A. MILON, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que  
**Mr GRECH-ANGELINI Sébastien**  
a été admis(e) sur concours en : 1998  
a obtenu son certificat de fin de scolarité le : 6 Juillet 2006  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

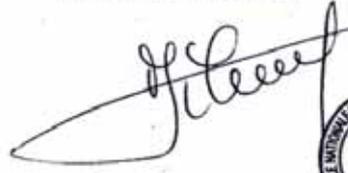
**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

Je soussigné, Philippe JACQUIET, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,  
autorise la soutenance de la thèse de :  
**Mr GRECH-ANGELINI Sébastien**  
intitulée :  
*«Effets de la déshydratation sur le métabolisme énergétique et sur l'état corporel du dromadaire, Camelus  
dromedarius »*

**Le Professeur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Docteur Philippe JACQUIET**



**Vu :  
Le Directeur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Professeur Alain MILON**



**Vu :  
Le Président de la thèse :  
Professeur Alexis VALENTIN**



**Vu le : 30 MARS 2007  
Le Président  
de l'Université Paul Sabatier  
Professeur Jean-François SAUTEREAU**





## **LISTE DES REFERENCES**

AL-QARAWI A, MOUSA H.M, 2004. *Lipid concentrations in erythrocyte membranes in normal, starved, dehydrated and rehydrated camel), and in normal sheep and goats*. J. Arid Environ., 59, 675-683.

BANERJEE S, BHATTACHARJEE R, 1963. *Distribution of water body in the camel*. Am. J. Physiol, 204, 1045-1047.

.BENGOUMI M, 1992. *Biochimie clinique du dromadaire et mécanismes de son adaptation à la déshydratation*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, IAV Hassan II.

BENGOUMI M, FAYE B, 2002. *Adaptation du dromadaire à la déshydratation*. Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 13. Numéro 2.

BENGOUMI M, FAULCONNIER Y, TABARANI A, SGHIRI A, FAYE B, CHILLIARD Y, 2005. *Effects of feeding level on body weight, hump size, lipid content and adipocyte volume in the dromedary camel*. Anim. Res. 54, 383-393.

BEN ROMDHANE S, ROMDANE M, FEKI M, SANHAGI H, KABACHI N, M'BAZAA A, 2003. *Valeurs usuelles des principaux constituants biochimiques sériques du dromadaire*. Rev. Med. Vet, 154, 11, 695-702.

BERLYNE G, SHAINKIN-KESTENBAUM R, SHARMA K, SHEKHAWAT V, 1978. *Renal physiology of the dromedary camel*. Nippon Jinzo Gakkai Ski, 9, 1015 – 1021

BONNET P, 1998. *Dromadaires et chameaux, animaux laitiers*. Actes du colloque, Noakchott, Mauritanie, 24-26 octobre 1994, 304 p.

BRAUN J, 1999 a. *Le métabolisme lipidique*. Polycopié ENVT.

BRAUN J, 1999 b. *Le métabolisme glucidique*. Polycopié ENVT.

CHARNOT Y, 1958. *Répercussion de la déshydratation sur la biochimie et l'endocrinologie du dromadaire*. Thèse en sciences naturelles, université Paris 6.

CHARNOT Y, 1967. *Régulation endocrinienne du métabolisme de l'eau chez le dromadaire*. Soc. Sci. Nat.Physiol. Maroc, 47, 215-226.

CHEARRIER R, SUMBORO M, FAYE B, 1991. *Note sur une méthode de biopsie hépatothique chez le jeune dromadaire*. Rev.Elev.Med.Vet Pays trop, 44(2), 131-133.

CHILLIARD Y, 1989. *Particularités du métabolisme des lipides et du métabolisme énergétique chez le dromadaire*. Options Méditerranées, série séminaires numéro 2, 101 – 110.

CHILLIARD Y, BOCQUIER E, DELAVAUD C, FAULCONNIER Y, BONNET M, GUERRE-MILLO M, MARTIN E, EERLAY A, 1999. *La leptine chez le ruminant. Facteurs de variations physiologiques et nutritionnels*. INRA Prod. Anim. ,12,225-337.

CHILLIARD Y, BENGOUIMI M, DELAVAUD C, FAULCONNIER Y, FAYE B, 2006. *Body lipids and adaptation of camel to food and water shortage : new data on adipocyte size and plasma leptin*. Proc. of . Intern. Workshop, " Desertification combat and food safety : the added value of camel producers". Ashkabad (Turkménistan), 19-22 april 2004. In "Vol. 362 NATO Sciences Series, Life and Behavioural Sciences". B. Faye and P. Esenov (Eds), IOS press Publ., Amsterdam (The Netherlands), 135-145.

COLE D.P, 1975. *Nomads of the nomads: The Al Murrah Bedouin of the Empty Quarter*. Adline publishing Co, Chicago.

DAVID W, PETERS A, VICTOR W, 1985. *Précis de biochimie de Harper*. Ed VI, Eska, Québec.

DJEGHAM M, BELHADJ O, 1986. *Comportement de thermorégulation et résistance à la privation d'eau chez le dromadaire: variations saisonnières des profils biochimiques et hématologiques*. Maghreb Vet., 10, 11-16.

DORMAN A, 1984. *The camel in health and disease*. Br. Vet. J., 140, 616-630.

EMMANUEL B, 1979. *Comparative biochemical studies between the camel and other ruminants*. The camelid an all purpose animal. Proc. Khartoon. Workshop on camels. Ed. Cokrill W.R, 449 – 478.

EMMANUEL B, 1980. *Oxydation of butyrate to ketone bodies and CO<sub>2</sub> in the rumen epithelium of camel, liver, kidney and lung of camel, sheep and goat*. Comp. Biochem. Physiol. 65B, 699-704.

EMMANUEL B, 1981. *Fatty acid synthesis in camel hump and sheep tail fat*. Comp. Biochem. Physiol, 68B, 547 – 550.

EPSTEIN H, 1971. *The origin of the domestic animals of Africa*. Vol. 2. New York. Africana Publ. Corp. Leipzig. Edition Leipzig.

ETZION Z, MEYERSTEIN N, YAGIL R, 1984. *Tritiated water metabolism during dehydration and rehydration in camel*. J. Appl. Physiol, 56, 217- 220.

FAULCONNIER Y, BONNET M, BOCQUIER F, LEROUX C, HOCQUETTE J, MARTIN R, CHILLIARD Y. 1999. *Régulation du métabolisme lipidique des tissus adipeux et musculaires chez le ruminant. Effets du niveau alimentaire et de la photopériode*. INRA Prod. Anim., 12, 287-300.

FAYE B, MULATO C, 1991. *Facteurs de variation des paramètres protéo-énergétiques, enzymatiques et minéraux dans le plasma chez le dromadaire de Djibouti*. Rev. Elev. Med Vét. Pays Trop., 3.

FAYE B, 1997. *Guide de l'élevage du dromadaire*. Ed. Sanofi, Libourne, 126p.

FAYE B, BENGOU MI M, HIDANE K, 1998. *Le développement de l'élevage laitier péri-urbain: l'exemple de Laâyoune (Maroc)*. Atelier international sur la production laitière péri-urbaine, Ed. G.Duteurtre et C..Meyer, Publ. CIRAD, Montpellier, France, 103 – 108.

FAYE B, BENGOU MI M, HIDANE K, 2001. *Le développement de l'élevage camelin laitier péri-urbain: l'exemple de Laâyoune*, Rev.Elev.Vet. Pays Trop, 50

FAYE B, BENGOUNI M, MESSAD S, CHILLIARD Y, 2001. *Fat storage and adipocyte patterns in camel: a tool for management and reproduction*. Advances in reproduction, 5.

FAYE B, BENGOUNI M, MESSAD S, CHILLIARD Y, 2002. *Estimation des réserves corporelles chez le dromadaire*. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop, 55, 69-78.

FAYE B, GRECH S, KHORCHANI T, 2004, *Le dromadaire, entre féralisation et intensification*. Anthropozoologica numéro 39 (volume 2).

GAUTHIERS-PILTIERS H, DAGG A, 1979. *Aspects of dromedary ecology and ethology*. Workshop on camels. Ed Cokrill, Upssala, 412-430.

GHOSAL A, APANNA T, DWARAKNATH P, 1974. *Seasonal variation in water compartment of the indian camel*. Br. Vet. J , 130, 47-49.

HUSSEIN M.A, 1993. *Traditional practices of camel husbandry and management in Somalia*. Hjort (Ed.): *The Multi-purpose Camel: Interdisciplinary Studies on Pastoral Production in Somalia*. EPOS, Uppsala University, Sweden (1993).

KAMILI A, 2003. *Etude de la relation entre certaines mesures baryométriques, le poids vif et le poids de la bosse et de certains organes chez le dromadaire*. Thèse Med.Vet. IAV Hassan II (Maroc).

KANEKO J, 1989. *Clinical biochemistry of domestic animals*. Ed. IV, Academic Press, New York.

MACFARLANE W, MORRIS R, HOWARD B, 1963. *Turnover and distribution of water in desert camels, sheep, cattle and kangaroos*. Nature, 197, 270-271.

MACFARLANE W, 1977. *Survival in arid land. Desert mouse and camel*. Aust. Natn. Clay, 19, 18-23.

MAHMUD H, ABDULHAMID H, LOCATELLI A, 1984. *Water deprivation effects on the haematological and hematochemical pictures of camelus dromedaries*. Rev. Elev. Med. Pays Trop. 37, 313-317.

MALTZ E et SHKOLNIK A, 1984. *Lactational strategies of desert ruminants*. Zool. Soc. Lond., 51. pp 193-214.

MIRGANI T, 1977. *Fatty acid composition of hump triglycerides of camel (Camelus dromedarius)*. Comp. Biochem. Physiol., 58, 211-213.

MIRGANI T, 1981. *Effect of dietary lipids on camel serum lipids*. Wld. Rev. Anim. Prod.

PRAT M, 1993. *L'alimentation du dromadaire*. Thèse de doctorat vétérinaire E.N.V.A (France), 125 pp..

SCHMIDT-NIELSEN B, SCHMIDT-NIELSEN K, HOUP T, JARNUM S, 1956. *Water balance of the camel*. Am. J. Physiol., 185, 185-194.

SCHMIDT-NIELSEN B, SCHMIDT-NIELSEN K, HOUP T, JARNUM S, 1957. *Body temperature of the camel and its relation to water economy*. Am. J. Physiol., 188, 103-112.

SCHMIDT-NIELSEN K, 1964. *Desert animals: Physiological problems of heat and water*. Clarendon Press, Oxford.

SCHMIDT-NIELSEN K, CRAWFORD EC, NEWSOME A, RAWSON K, HAMMEL H, 1967. *Metabolic rate of camels : effects of body temperature and dehydration*. Am J Physiol, 212, 341-346.

SCHWARTZ H.J, WALSH M.G.H, 1992. *The productive potential of the camel*. The one-humped camel in eastern Africa, Schwartz and Dioli (Eds), Verlag Publ, Allemagne, 30-61.

SIEBERT B, MACFARLANE W, 1971. *Water turnover and renal function of dromedaries in the desert*. Physiol. Zool. , 44, 168-169.

SIEBERT B, MACFARLANE W, 1975. *Dehydration in desert cattles and camels*. *Physiol. Zool.*, 48 , 225-240.

SCARAMELLA D., CIANCI D., MACCHIONI G., 1989. *Il Camelo*. Edizioni Agricole, 211pp.

TOURE A, 2001. *Contribution à l'étude de l'effet du régime alimentaire sur certains paramètres baryométriques et énergétique du métabolisme chez le dromadaire*. Thèse de doctorat Vet, IAV Hassan II.

WILLIAMS V, 1963. *Rumen function in the camel*. *Nature*, 137, 1221.

WILSON R T, 1984. *The camel*. Ed. Longman, Londres, 223pp.

WILSON RT, 1989. *Ecophysiology of the camelidae and deserts ruminants*. Springer Verlag, Berlin.

YAGIL R, SOD-MORIAH U, MEYERSTEIN N, 1974. *Dehydration and camel blood. Red blood cell survival in the one humped camel*. *Am. J. Physiol* , 226 , 298-300.

YAGIL R, ETZION Z, GANANI J, 1978. *Camel thyroid metabolism : effects of season and dehydration*. *J Apple Physiol*, 45, 540-544.

YAGIL R, ETZION Z, 1980. *Effect of drougt condition in the quality of camel milk*. *J Dairy Res*, 47, 159-166..

YAGIL R, 1985. *The desert camel: comparative physiological adaptation. Comparative animal nutrition*. Ed. Karger , Basel.

**Rapport-Gratuit.com**

**LISTE DES FIGURES,  
TABLEAUX ET ANNEXES**

## FIGURES

Figure 1 : classification zoologique des camélidés et place du dromadaire	16
Figure 2 : Rapport de la structure squelettique et corporelle d'un dromadaire adulte	17
Figure 3 : Effectifs camelins (en milliers de têtes) dans les pays d'Afrique et d'Asie	20
Figure 4 : Présence du dromadaire dans les provinces du Maroc	21
Figure 5 : Dromadaire infecté par <i>Trypanosoma evansi</i>	26
Figure 6 : Evolution de la température corporelle lors d'une épreuve de déshydratation	29
Figure 7 : Répartition de l'eau corporelle du dromadaire	31
Figure 8 : Composition corporelle du dromadaire hydraté et déshydraté après 9 jours de privation d'eau	32
Figure 9 : Récapitulatif sur les moyens mis en œuvre par le dromadaire pour résister à la privation d'eau	39
Figure 10 : Digestion des glucides ingérés chez les ruminants	43
Figure 11 : Localisation d'Ain Jmaa	57
Figure 12 : Chamelle entravée au soleil dans durant l'essai	58
Figure 13: Les animaux des 2 lots entravés et groupés dans des boxes	59
Figure 14 : Représentation schématique des dimensions de la bosse	64

Figure 15 : Evaluation de la conformation du dromadaire	66
Figure 16 : Evolution de la température corporelle (°C)	73
Figure 17 : Evolution du poids vif	74
Figure 18 : Evolution de la longueur de la bosse (cm)	75
Figure 19 : Evolution de la largeur de la bosse (cm)	75
Figure 20 : Evolution de la hauteur de la bosse (cm)	76
Figure 21 : Evolution de l'épaisseur (cm)	76
Figure 22 : Evolution de la note de conformation	77
Figure 23 : Evolution de l'hématocrite	78
Figure 24 : Evolution de la glycémie (mmol /l)	78
Figure 25 : Evolution de la triglycéridémie (mmol /l)	79
Figure 26 : Evolution de la concentration sérique en acides gras libres (mmol /l)	80
Figure 27 : Evolution de la concentration plasmatique d'acéto-acétate (μmol /l)	81
Figure 28 : Evolution de la concentration plasmatique de β-hydroxybutyrate (μmol /l)	81

## **TABLEAUX**

Tableau 1 : Les paramètres de la reproduction chez le dromadaire	25
Tableau 2 : Température moyenne à Ain Jmaa durant l'essai	57
Tableau 3 : Planning de l'essai	61
Tableau 4 : Valeur digestible des aliments composants la ration	62
Tableau 5: Eau bue quotidiennement par les chamelles en phase d'adaptation	63
Tableau 6 : Quantité moyenne d'eau bue (en litres) par les animaux du lot test suite à la réhydratation	72

## **ANNEXES**

Annexe 1 : Influence de la déshydratation sur le poids vif (kg)	114
Annexe 2 : Evolution de la température corporelle (°C)	114
Annexe 3 : Evolution de la fréquence cardiaque (battements par minute)	115
Annexe 4 : Evolution de la fréquence respiratoire (cycles par minute)	115
Annexe 5 : Influence de la déshydratation sur la longueur de la bosse (cm)	116
Annexe 6 : Influence de la déshydratation sur la largeur de la bosse (cm)	116
Annexe 7 : Evolution de la hauteur de la bosse (cm)	117

Annexe 8 : Evolution de l'épaisseur de la bosse (cm)	117
Annexe 9 : Notation d'état corporel	118
Annexe 10 : Influence de la déshydratation sur l'hématocrite (%)	118
Annexe 11 : Evolution de la glycémie (mmol /l)	119
Annexe 12 : Evolution de la cholestérolémie (mmol /l)	119
Annexe 13 : Evolution de la triglycéridémie (mmol /l)	120
Annexe 14 : Evolution de la concentration sérique en acides gras libres (mmol /l)	120
Annexe 15 : Evolution de la concentration plasmatique d'acéto-acétate ( $\mu\text{mol /l}$ )	121
Annexe 16 : Evolution de la concentration plasmatique de $\beta$ -hydroxybutyrate ( $\mu\text{mol /l}$ )	121



# **ANNEXES**

		J -7	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	381	383	391	375	376	379	385
	Ecart type	36,7	44,1	38,3	42,6	45,3	40,7	39,8
Lot déshydraté	Moyenne	405	412	358	309	310	392	422
	Ecart type	21,2	43,8	48,8	22,4	17,1	21,9	16,5

**Annexe 1 : Influence de la déshydratation sur le poids vif (kg)**

		J -7	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	37,8	38,2	37,8	37,8	38,1	37,9	38,0
	Ecart type	1,5	2,0	1,6	1,9	1,8	1,4	1,6
Lot déshydraté	Moyenne	37,9	38,1	38,9	39,9	40,4	38,9	37,8
	Ecart type	1,4	1,5	2,0	2,4	2,3	1,6	1,3

**Annexe 2 : Evolution de la température corporelle (°C)**

		J -7	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	48	48	47	45	48	46	49
	Ecart type	4,0	3,9	3,8	3,2	3,0	3,6	3,2
Lot déshydraté	Moyenne	46	48	40	33	31	38	42
	Ecart type	4,1	3,5	4,2	4,8	4,2	3,3	3,6

**Annexe 3 : Evolution de la fréquence cardiaque (battements par minute)**

		J -7	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	11	12	11	12	13	12	11
	Ecart type	1,8	2,0	1,8	1,7	1,6	1,9	2,0
Lot déshydraté	Moyenne	13	12	12	8	7	8	12
	Ecart type	2,0	1,4	1,5	1,2	1,3	1,4	1,2

**Annexe 4 : Evolution de la fréquence respiratoire (cycles par minute)**

	Jours	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J29
Lot témoin	Moyenne	52	52,5	52,3	52,3	52,5
	Ecart type	6,31	6,74	6,76	6,76	6,70
Lot déshydraté	Moyenne	55	54	53,5	54	54
	Ecart type	2,34	2,32	2,4	2,4	2,4

**Annexe 5 : Influence de la déshydratation sur la longueur de la bosse (cm)**

	Jours	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J29
Lot témoin	Moyenne	49,5	49,5	49,2	49	49
	Ecart type	7,81	7,81	7,43	7,40	7,6
Lot déshydraté	Moyenne	52,8	52,5	52,5	52	52,3
	Ecart type	3,22	3,66	3,66	4,0	3,9

**Annexe 6 : Influence de la déshydratation sur la largeur de la bosse (cm)**

	Jours	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J29
Lot témoin	Moyenne	39,6	41	41,3	41,3	41,3
	Ecart type	6,52	6,73	7,11	6,61	6,52
Lot déshydraté	Moyenne	42,1	40,5	40,2	40,4	40,4
	Ecart type	3,02	2,69	2,15	2,43	2,25

**Annexe 7 : Evolution de la hauteur de la bosse (cm)**

	Jours	J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J29
Lot témoin	Moyenne	12,7	12,9	13,2	13,1	13,1
	Ecart type	3,15	2,89	3,23	3,10	3,10
Lot déshydraté	Moyenne	13,8	13,5	13,3	13,5	13,5
	Ecart type	1,34	1,52	1,72	1,7	1,64

**Annexe 8 : Evolution de l'épaisseur de la bosse (cm)**

		J0	J7	J14	J23 <b>FD</b>	J29
Lot témoin	Moyenne	2,3	2,6	2,6	2,6	2,6
	Ecart type	0,74	0,9	0,9	0,9	0,9
Lot déshydraté	Moyenne	3,0	2,8	2	1,8	2,5
	Ecart type	0,79	0,88	0,86	0,69	0,53

**Annexe 9 : Notation d'état corporel**

		J-7	J-3	J0	J5	J10	J15	J21	J23 <b>FD</b>	J24 <b>R</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	20,3	19,5	19	18,6	20	20,8	21,3	20,5	20,2	20	19,2
	Ecart type	1,21	1,32	1,67	1,64	1,9	2,13	1,76	1,52	1,6	2,0	2,14
Lot déshydraté	Moyenne	20,6	20,2	19,4	20	24,5	27,2	26,8	26	21,7	20,2	18,9
	Ecart type	2,06	1,85	2,65	2,0	2,81	2,48	2,22	2,61	2,04	1,17	1,47

**Annexe 10 : Influence de la déshydratation sur l'hématocrite (%)**

		J -7	J -3	J0	J5	J10	J15	J21	J23 <b>FD</b>	J24 <b>R</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	5,79	5,98	6,16	5,72	5,96	5,72	5,75	5,91	5,79	5,72	5,86
	Ecart type	0,43	0,42	0,21	0,44	0,37	0,44	0,37	0,41	0,26	0,32	0,34
Lot déshydraté	Moyenne	5,83	5,91	6,00	6,00	6,30	7,66	10,76	12,72	8,32	7,11	6,01
	Ecart type	0,47	0,38	0,24	0,62	0,52	0,45	1,01	0,57	0,30	0,08	0,41

**Annexe 11 : Evolution de la glycémie (mmol /l)**

		J -7	J -3	J0	J5	J10	J15	J21	J23 <b>FD</b>	J24 <b>R</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16
	Ecart type	NC	NC	NC	NC							
Lot déshydraté	Moyenne	<1,16	<1,16	<1,16	<1,16	1,32	1,63	2,38	3,01	2,20	1,40	1,21
	Ecart type	NC	NC	NC	NC	0,1	0,13	0,15	0,14	0,1	0,17	0,11

**Annexe 12 : Evolution de la cholestérolémie (mmol /l)**

		J -7	J -3	J0	J5	J10	J15	J21	J23 <b>FD</b>	J24 <b>R</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	0,21	0,22	0,18	0,23	0,22	0,20	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21
	Ecart type	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Lot déshydraté	Moyenne	0,21	0,22	0,21	0,21	0,31	0,5	0,66	0,77	0,57	0,46	0,24
	Ecart type	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,03

**Annexe 13** : Evolution de la triglycéridémie (mmol /l)

		J -7	J -3	J0	J5	J10	J15	J21	J23 <b>FD</b>	J24 <b>R</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,06	0,09	0,1	0,07	0,03	0,02
	Ecart type	0,02	0,01	0,02	0,007	0,01	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01	0,005
Lot déshydraté	Moyenne	0,03	0,03	0,02	0,05	0,11	0,19	0,25	0,29	0,16	0,11	0,03
	Ecart type	0,01	0,01	0,0	0,02	0,04	0,05	0,07	0,04	0,04	0,02	0,008

**Annexe 14** : Evolution de la concentration sérique en acides gras libres (mmol /l)

		J -7	J -3	J0	J5	J10	J15	J21	J23 <b>FD</b>	J24 <b>R</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	13,98	14,96	15,05	13,6	14,62	15,15	15,72	14,85	14,05	14,42	14,1
	Ecart type	2,52	1,60	2,42	1,20	1,27	1,06	2,07	2,94	2,15	1,70	1,71
Lot déshydraté	Moyenne	13,35	14,57	13,86	13,83	15,38	16,42	16,93	16,97	15,02	14,32	14,28
	Ecart type	2,07	1,38	1,32	1,62	2,35	1,67	2,15	1,96	1,67	2,15	1,96

**Annexe 15** : Evolution de la concentration plasmatique d'acéto-acétate ( $\mu\text{mol/l}$ )

		J -7	J -3	J0	J5	J10	J15	J21	J23 <b>FD</b>	J24 <b>R</b>	J25	J29
Lot témoin	Moyenne	26,7	29,28	27,85	24,48	27,77	28,79	29,86	28,18	26,7	27,39	26,79
	Ecart type	4,14	2,76	1,84	2,15	2,41	2,01	3,93	5,52	4,09	3,22	3,26
Lot déshydraté	Moyenne	27,97	30,2	25,56	24,9	35,38	37,76	39,41	41,4	34,97	33,32	33,29
	Ecart type	5,04	3,18	2,48	2,89	2,96	4,74	2,77	2,62	3,28	4,43	4,35

**Annexe 16** : Evolution de la concentration plasmatique de  $\beta$ -hydroxybutyrate ( $\mu\text{mol/l}$ )