

GESTION ET ÉVALUATION DU STATUT ÉNERGÉTIQUE DU DROMADAIRE

FAYE B.^{1,2}, ALSHARARY F.Z.¹, AL RWAILY S.H.¹

1. Camel and Range Research Center. P.O. Box 322. Al-Jouf. Sakaka. Saudi Arabia

2. CIRAD-ES. Campus international de Baillarguet. TA C/112A, 34398 Montpellier. France

Résumé : L'évaluation des réserves corporelles est un outil utile aux zootechniciens et aux éleveurs pour gérer l'état nutritionnel d'animaux soumis à de fortes contraintes alimentaires saisonnées. Plusieurs outils se présentent pour appuyer une gestion raisonnée et une évaluation du statut nutritionnel énergétique du dromadaire et pour lesquels on dispose de quelques références récentes. Quatre méthodes sont développées dans le présent document de synthèse : (i) la notation des réserves corporelles à partir d'une grille visuelle adaptable en fonction des phénotypes de dromadaire et qui permet d'apprécier l'état corporel global ; (ii) l'estimation du poids de la bosse, principale réserve adipeuse et organe assez unique dans le monde animal, qui permet d'avoir une idée de l'adiposité du dromadaire ; (iii) la mesure des adipocytes qui relève d'approches analytiques plus pointues à visée de recherche ; et enfin (iv) le dosage de métabolites indicateurs du niveau énergétique tels que la leptine, l'hormone de l'engraissement.

Mots clefs: Dromadaire, Adiposité, Métabolisme lipidique, Note d'état corporel, Leptine

MANAGEMENT AND ASSESSMENT OF THE ENERGETIC STATUS OF CAMEL

Abstract: The assessment of the body condition is a useful tool for zootechnicians and stockbreeders to manage the nutritional status of animals subjected to strong seasonal feeding constraints. Several tools are presented to support a convenient management and assessment of the energy status of the dromedary and for which some recent references are available. Four methods are developed in this present paper: (i) the scoring of the body condition starting from a visual grid adaptable according to the phenotypes of dromedary and which makes it possible to appreciate the total body condition; (ii) the estimation of the hump weight, principal fat reserve and rather unique organ in the animal world, which makes it possible to have an idea of the adiposity of the dromedary; (iii) the measurement of the adipocytes' volume, a convenient analytical approach for research; and finally (iv) the determination of metabolites indicators of the energy level such as the leptin, the hormone of the fattening.

Keywords: Camel, Adiposity, Lipidique metabolism, Body condition score, Leptin

Introduction

Toutes les espèces de rente sont confrontées, soit pour des raisons climatiques (alternance de saisons des pluies et de saisons sèches), soit pour des raisons physiologiques (déséquilibre entre besoins et capacité d'ingestion en début de lactation chez les espèces laitières) à des alternances de périodes d'accès insuffisant

ou au contraire abondant de ressources alimentaires. La conséquence de ces épisodes de « vache maigre » alternant avec des épisodes de « vache grasse » se matérialise par des cycles de mobilisation et de stockage de réserves adipeuses. Les animaux ayant la capacité de mobiliser et de stocker rapidement du tissu adipeux signent leur degré d'adaptation aux contraintes d'accès irrégulier aux

ressources en prenant en compte leurs besoins le long de leur cycle reproductif [1]. Durant les périodes de sous-nutrition, les ruminants utilisent leurs réserves de graisse pour maintenir leur production (ou pour survivre) en mobilisant le stock de tissu adipeux accumulé pendant les périodes favorables [2]. De ce point de vue, le dromadaire dispose d'un atout particulier.

En effet, la capacité du dromadaire à gérer des périodes de pénurie de nourriture ou d'eau est le résultat d'un long processus évolutif dans des conditions naturelles où l'eau, aussi bien que les ressources pastorales sont sous contrainte saisonnière avec, dans les conditions désertiques, des fluctuations très importantes tant en terme de quantité que de qualité [3]. Ainsi, dépôt et mobilisation lipidique contribuent à des stratégies physiologiques d'anticipation des besoins de gestation, de lactation et de pénurie alimentaire [4]. Dans les conditions arides, ces mécanismes adaptatifs ont une importance considérable notamment sur les performances de reproduction et sur les performances laitières. Par exemple, Tibary et Anouassi [5] ont observé un manque d'activité ovarienne chez la chamelle ayant un faible état d'engraissement. Habituellement, les femelles de ruminants perdent leur réserves adipeuses après la mise bas pour assurer la production de lait du fait que leur capacité d'ingestion est insuffisante à satisfaire les besoins en nutriments pour la sécrétion mammaire. Le stockage adipeux ne s'opère pas avant le pic de lactation et devient prépondérant au cours de la période de tarissement. La réserve adipeuse doit être suffisante lors de la parturition suivante pour permettre un nouveau cycle. Cependant, ce cycle peut être perturbé par une période de pénurie

alimentaire ou par une maladie entraînant une perte d'appétit, ce qui peut conduire à des troubles de la reproduction.

Ainsi, la gestion des réserves corporelles représente un outil important pour le pilotage de l'alimentation et la reproduction des animaux de ferme [6]. La présente publication fait en conséquence le point sur les méthodes et outils de gestion et d'évaluation des réserves corporelles chez le dromadaire, outils déjà largement utilisés dans d'autres espèces comme la vache [7], le mouton [8], la chèvre [9] ou même l'âne [10]. Cela inclut la notation de l'état corporel, l'évaluation du poids et du volume de la bosse, la mesure des adipocytes et les sondages métaboliques.

Un outil visuel pratique : la note d'état corporel

Généralement, le stockage adipeux d'un animal est apprécié par la note d'état corporel. De ce point de vue, le dromadaire a une particularité en comparaison de toutes les autres espèces, à savoir la présence d'une bosse entièrement constituée de réserves de matières grasses (contrairement par exemple à la bosse du zébu qui est un paquet musculo-graisseux jouant un rôle moins important dans la gestion des réserves adipeuses). En effet, la bosse comprend 92% de lipides rapporté à la MS [11]. Cependant, si elle représente la part prépondérante des réserves adipeuses du dromadaire (environ 80% du total gras de la bosse, gras péri-rénal et mésentérique selon Kamili et al., [12]), la prise en compte d'une note d'état corporel intègre d'autres critères que la seule bosse, d'autant qu'il apparait que la taille de la bosse elle-même dont la variabilité inter-individu est élevée

soit sous la dépendance de facteurs autant génétiques qu'alimentaires [13].

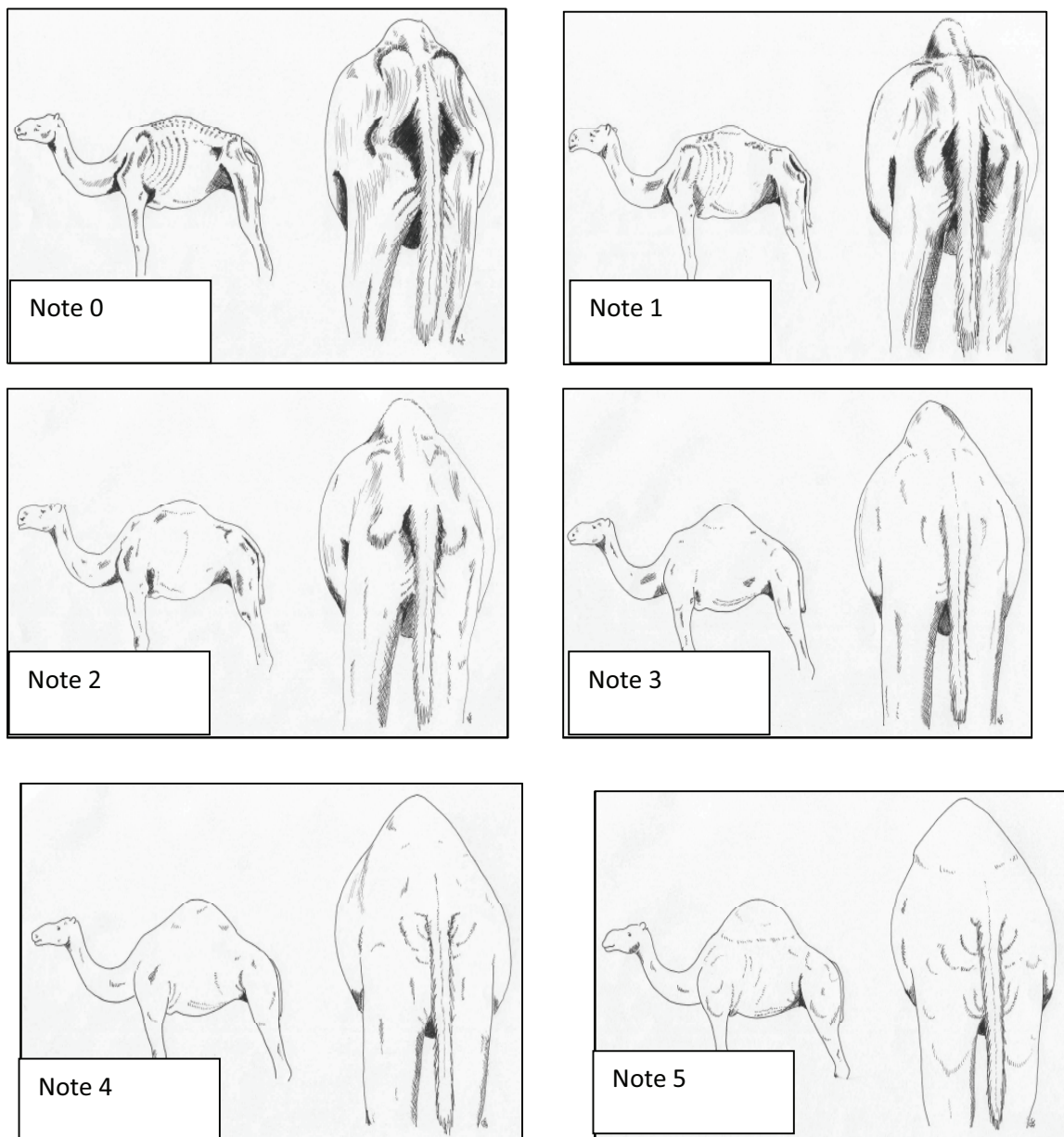


Figure 01 : Grille de notation de l'état corporel des dromadaires (notes de 0 à 5)

Tableau 01 : Grille des notes d'état corporel des dromadaires (exemple du dromadaire Maghrebi du Maroc)

Notes	Note de dos					Note de flanc			
	Pointe de la fesse	Ligament sacro-tubéral	Détroit caudal	Apophyses épineuses	Pointe de la hanche	Creux du flanc	Apophyses transverses	côtes	bosse
Note 0	totalemement visible	Très concave	Très creusé, base de la queue saillante	Toutes visibles	Très saillante	Très apparent	Toutes saillantes	Toutes visibles : la peau colle aux os	absente
Note 1	Bien visible	concave	creusé, base de la queue encore saillante	Saillante sur la longueur du dos	Nettement saillante	Nettement apparent	Nettement saillante	Nettement visibles	Absente ou très petite
Note 2	Bien visible	Légèrement aplatie	Dépression visible	Visibles sur la longueur du dos	visible	visible	Visibles sur toute la longueur	Visibles sur l'avant	petite
Note 3	Visible, dépôt de gras peu marqué	Plat à convexe	Dépression légère	Légèrement apparentes	A peine visible	Très léger	A peine visible	Invisible ou très légèrement à l'avant du thorax	Taille moyenne ou petite
Note 4	A peine visible et couverte de gras	convexe	comblé	Bien couvertes de gras	Pratiquement invisible	Pratiquement invisible	invisible	invisibles	Taille importante
Note 5	Disparue sous le gras	convexe	La base de la queue est noyée dans le gras	Invisibles	Invisible	Invisible	Invisible et ligne de dos arrondie	Gras de couverture visible	Bosse pouvant déborder les flancs

L'utilisation d'une telle grille nécessite des notateurs entraînés afin de proposer des notes reproductibles pour un notateur donné et homogènes entre notateurs [15]. Pour ce faire, des séances de formation doivent être mises en place afin de tester ces deux propriétés par des méthodes évaluant la reproductibilité intra-notateur (notation des mêmes animaux à plusieurs reprises par le même notateur) et l'homogénéité inter-notateurs (notation des mêmes animaux par différents notateurs) selon la méthodologie proposée pour évaluer l'état de propreté des bovins en élevage [17].

Le principe de la notation consiste à examiner l'animal à distance (2 ou 3 m) sur des critères purement visuels. Il n'est pas nécessaire de toucher et de palper l'animal, ce qui peut être difficile sur des animaux en divagation. Une note moyenne est attribuée

au flanc (animal vu de côté) selon la grille (tableau 1) en prenant en compte l'aspect du bassin, de la visibilité de la colonne vertébrale, des côtes et de l'épaule. Une seconde note est attribuée vue de l'arrière concernant la bosse et le bassin autour de la queue. Une moyenne des deux notes arrondie au demi-point donne le score final. Un écart d'un demi-point est admis entre deux notateurs, mais si ceux-ci sont bien entraînés, cette différence ne dépasse pas 5% des cas.

La notation de l'état corporel a pu être utilisée en lien avec les performances de reproduction. Par exemple, Tibary et Anouassi [5] rapportent un optimum du taux de conception chez la chamelle entre les notes 3 et 4 avec une chute au-delà de 4 et des valeurs très faibles en dessous de 2 (figure 2).

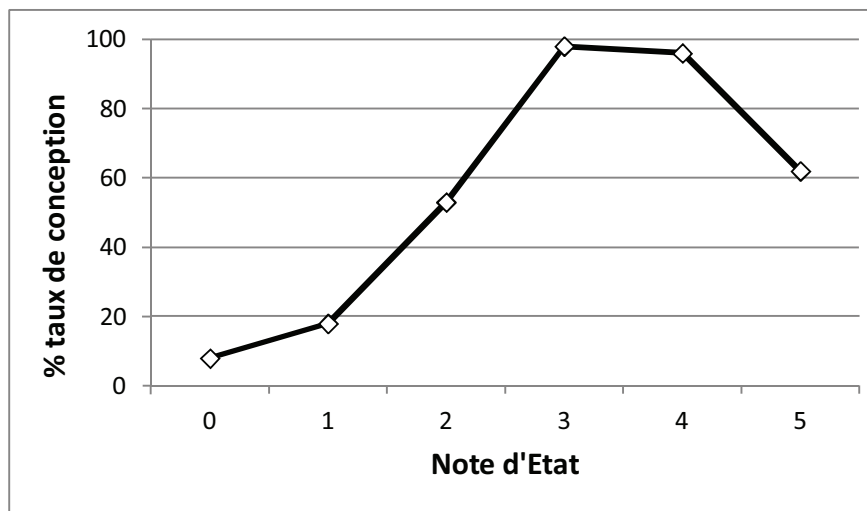


Figure 02 : Evolution du pourcentage de conception en fonction de la note d'état corporelle chez la chamelle (d'après Tibary et Anouassi, 1997 [5] et observations personnelles).

Evaluation du volume et du poids de la bosse

Il est souligné plus haut que l'originalité du dromadaire en matière de stockage adipeux est la prépondérance visible de la bosse. Celle-ci concentre en réalité le gras superficiel. Le gras interne se concentre autour des reins (15% du stockage adipeux) et dans le mésentère (5%) d'après les observations de Kamili et al., [12]. Mais c'est sans compter la partie intermusculaire et viscérale qui ne peut être estimée que par des découpes anatomiques précises rarement réalisées chez le dromadaire. Il existe aussi des dépôts adipeux sous-cutanés vers l'épaule, le sternum, le flanc, les côtes, la cuisse et le cou [18]. D'après une étude non publiée de Tunisie, le gras de la bosse représenterait environ 45% de la totalité du tissu adipeux du dromadaire.

Il existe une corrélation positive significative entre le stock adipeux de la bosse et celle du gras péri-rénal [13], même si celle-ci n'est pas constante selon les

classes d'âge des animaux. En conséquence, la détermination du stock adipeux de la bosse peut renseigner sur la totalité des réserves adipeuses, un indicateur quelque peu différent de la note d'état corporel comme il a été noté plus haut.

Le volume de la bosse a été estimé à partir de données barymétriques, en considérant la bosse comme une demi-ellipsoïde (fig 3). On définit :

la longueur comme étant la distance entre A et B en passant par le sommet de la bosse E (il s'agit de fait, d'une demi-circonférence vue de profil) ;

la largeur comme étant la distance entre A et B en passant par le côté C (ou D) de la bosse (soit la demi-circonférence vue de dessus) ;

la hauteur comme étant la distance entre C et D en passant par le sommet de la bosse E

(soit la demi-circonférence vue de l'avant ou de l'arrière de l'animal).

Ces mesures sont réalisées avec un mètre-ruban en prenant soin de tasser la laine,

épaisse à ce niveau et susceptible de conduire à une légère surestimation des distances réelles.

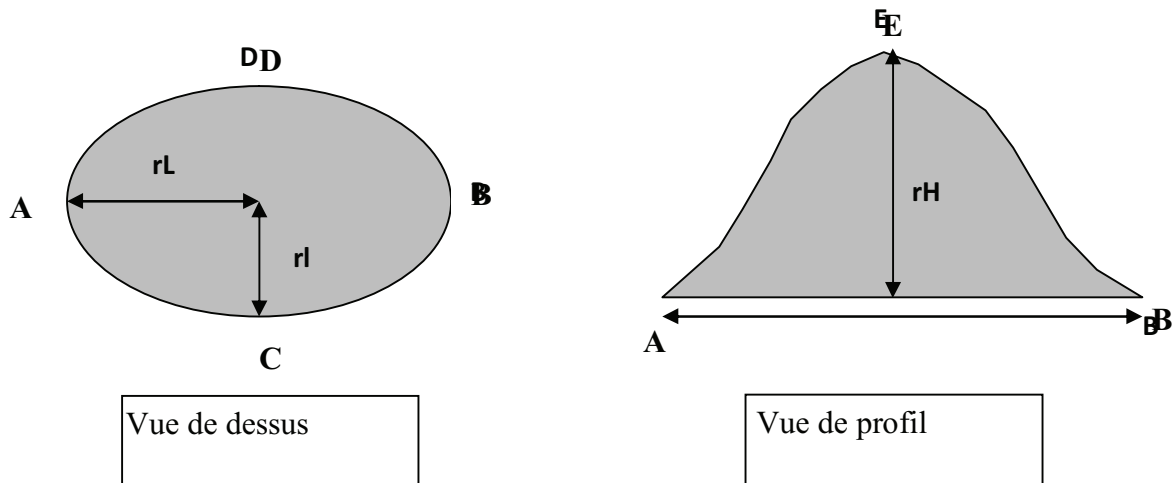


Figure 03 : Mesures baryométriques de la bosse du dromadaire

L'estimation du volume d'une demi-ellipsoïde de rayons rL , rl et rH peut être approchée par la formule :

$$V = \frac{1}{2} (4/3 \pi * rL * rl * rH)$$

Soit en considérant que les demi-circonférences sont égales respectivement à :

$$L = \pi 2 rL / 2$$

$$l = \pi 2 rl / 2$$

$$H = \pi 2 rH / 2$$

Le volume V deviant :

$$\frac{1}{2} (4/3 \pi * L / \pi * l / \pi * H / \pi)$$

Soit en simplifiant :

$$V(\text{cm}^3) = 0.07 L * l * H \quad [13]$$

D'après les analyses de Kamili et al., [12], non pas sur un modèle théorique, mais à partir de la mesure du volume à l'abattoir (mesuré par l'eau déplacée par la bosse prélevée après abattage et plongée dans l'eau selon le principe d'Archimède) et des mensurations baryométriques avant abattage, il a été possible d'obtenir une formule différente avec une précision de 86% :

$$V (l) = 0,24 L (\text{cm}) + 0,27 H (\text{cm}) - 8,63$$

Toutefois, ces résultats ont été obtenus sur des animaux dont le poids de la bosse était assez faible (entre 0,5 et 40 kg).

L'évaluation du **poids** n'est possible que sur la base d'abaques élaborées à partir d'un jeu de données comprenant des mesures barymétriques et le poids de la bosse mesurée après abattage des animaux. Sur la base de 82 relevés réalisés à l'abattoir, on a pu proposer une équation de prédiction au second degré, les relations entre le poids et chacune des dimensions retenues –hauteur H et longueur L- n'étant pas linéaires [13]:

$$\sqrt{P} \text{ (kg)} = 0.083 \text{ H (cm)} + 0.000096 \text{ L (cm)} + 1.587 \quad \varepsilon = 0.331 \quad p < 0.0001$$

Cependant, la prédiction obtenue par l'ajout de la longueur L de la bosse n'est pas améliorée. Aussi, une équation simplifiée peut être proposée :

$$\sqrt{P} \text{ (kg)} = 1.59 + 0.0836 \text{ H (cm)} \quad \varepsilon = 0.571 \quad p < 0.0001$$

L'analyse des résidus montre un meilleur ajustement de ce modèle avec les bosses de taille moyenne ou de grande taille [13].

Dans une étude non publiée réalisée en Arabie Saoudite, le poids de la bosse a été estimé par des mesures barymétriques utilisant la formule ci-dessus sur 28 chamelles adultes autour du post-partum toutes les deux semaines pendant 7 mois (1 mois avant la mise bas et 6 mois après la mise bas). La variation du poids selon un modèle utilisant la moyenne mobile sur 2 périodes, a montré une décroissance plus ou moins régulière après la mise bas et un début de restockage après le 4^{ème} mois post-partum ce qui correspond au pic de lactation dans cet échantillon (figure 4).

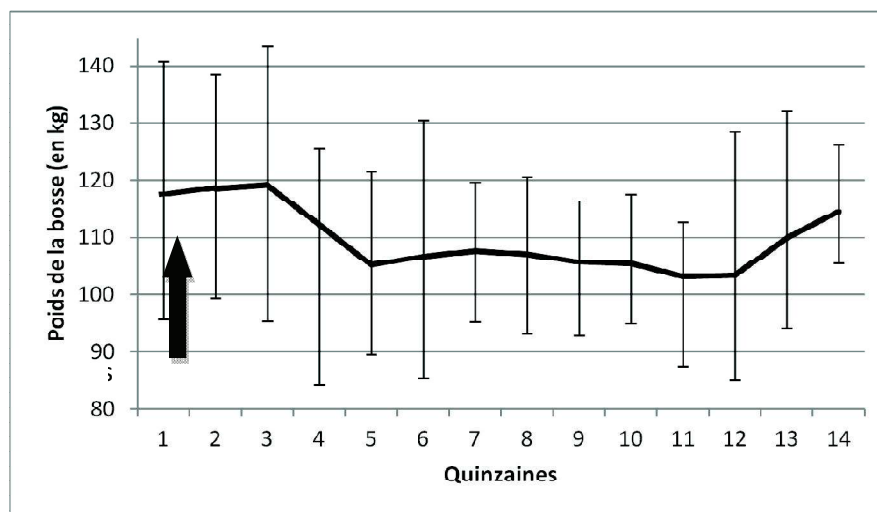


Figure 04 : Evolution du poids de la bosse (en kg) chez des chamelles après le post-partum

On constatera dans cet exemple que le poids de la bosse dépasse en moyenne les 100kg ce qui est probablement surévalué par la formule proposée, mais il s'agit toutefois d'animaux en très bon état

d'engraissement (photo 1). Pour une plus grande précision des formules proposées, il conviendrait de disposer d'un panel d'animaux reflétant un maximum de variation des états d'engraissement.



Photo 01 : Dromadaires avec une bosse approchant les 100 kg de dépôts adipeux et une note d'état corporel de 5 (photo. B. Faye)

Le poids de la bosse apparait bien corrélé au poids vif et au poids de la carcasse [12]. L'équation proposée par ces auteurs pour les dromadaires du Sud-marocain, permet d'estimer avec une précision de 94%, le poids de carcasse à partir de la hauteur de la bosse (H) et la circonférence du cou (CC) selon la formule :

$$\text{Poids carcasse (kg)} = 1,21H \text{ (cm)} + CC \text{ (cm)} - 17,50$$

C'est dire que la bosse peut être un bon indicateur prédictif du poids de la carcasse à condition d'être associé à un autre critère comme le tour du cou [12] ou aussi le tour de cuisse [13]. Il faut préciser cependant qu'il existe une forte variation aussi de la forme de la bosse, qui peut être plus ou moins arrondie ou pointue selon les individus et les races et qui peut être aussi asymétrique ou symétrique (photo 2) comme cela a pu être observé chez les races décrites en Arabie Saoudite [19].



Photo 02 : Formes symétrique (a), asymétrique arrière (b) et symétrique avant (c) de la bosse du dromadaire chez différentes races.

De telles différences morphologiques peuvent diminuer la précision des équations proposées, d'où l'importance de tenir

compte de l'origine raciale des animaux afin d'apporter les réajustements nécessaires.

La mesure de la taille des adipocytes

Le tissu adipeux est constitué principalement de cellules appelées adipocytes dont la particularité est de pouvoir stocker une quantité plus ou moins grande de lipides dans une vacuole cytoplasmique. Aucune donnée n'était disponible chez les camélidés jusque dans les années 2000, à l'exception de quelques observations chez un jeune chameau de Bactriane [20]. Chez les ruminants, le poids du tissu adipeux résulte de la combinaison

du nombre et de la taille des adipocytes [21]. La taille des adipocytes varie en effet considérablement en fonction de l'état de mobilisation (lipolyse) ou de déposition (lipogenèse) des lipides à l'intérieur des adipocytes [22]. Cette taille est appréciée par le diamètre de la cellule (figure 5), mesurée sur des adipocytes isolées après traitement chimique par l'acide osmique et stockage dans l'urée [23]. Les cellules sont ensuite comptées par un système automatisé de photographie [24].

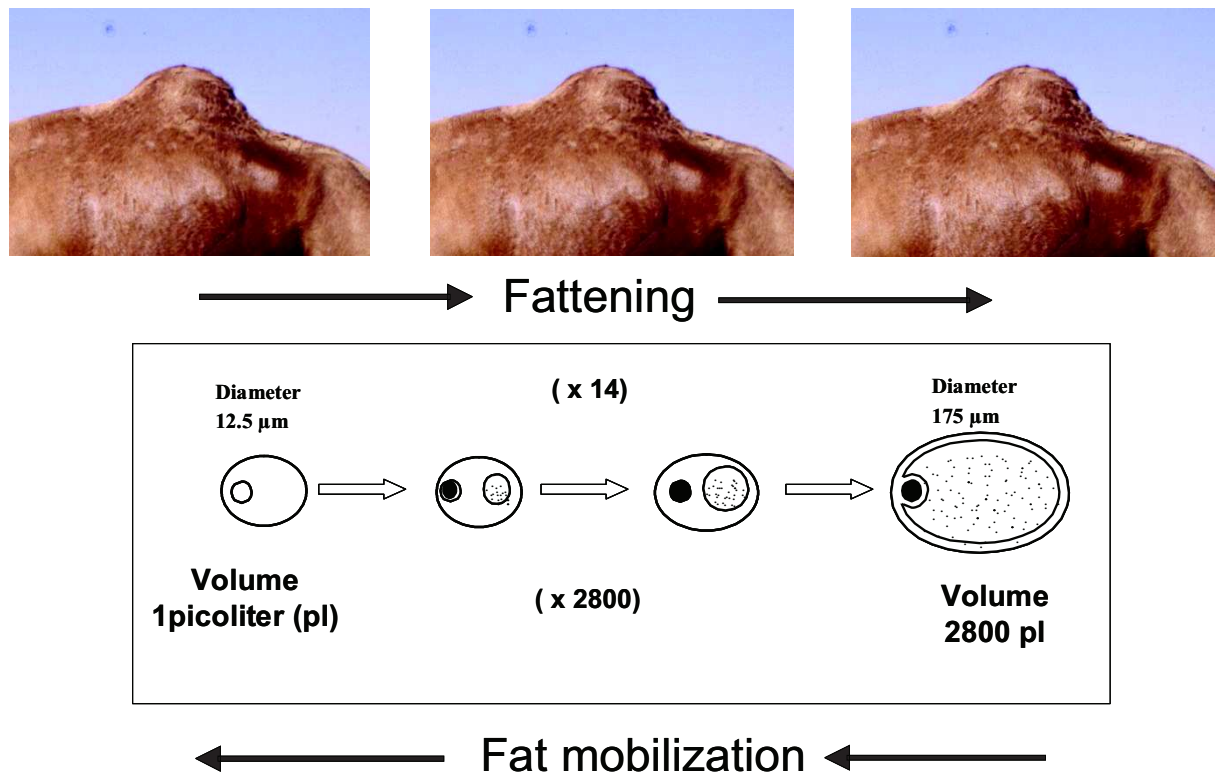


Figure 05: La taille des adipocytes dépend de quantité intracellulaire de gras stockée ou déstockée lors des processus de mobilisation ou de genèse lipidique (d'après Chilliard et al., [22])

Le diamètre des adipocytes varie entre 12,5 et 175 μm. Pour faciliter l'interprétation de cette variabilité, les cellules sont groupées en 14 classes par écarts de 12,5 μm. Ainsi, la classe 1 comprend les cellules dont les diamètres sont compris entre 12,5 et 25 μm,

la classe 2, les cellules entre 25 et 37,5 μm,la classe 14, les cellules comprises entre 162,5 et 175 μm.

La mesure de la taille des adipocytes (notamment sous-cutanés) est un bon

indicateur de l'état d'engraissement. Chez les bovins, il existe une forte corrélation positive entre ce diamètre et le poids des dépôts adipeux [23] ou le pourcentage de lipides du corps entier [25]. Chez le dromadaire, les données sont rares. Une étude comparative [20] a permis d'observer chez un chameau de Bactriane que la taille des adipocytes était plus importante en moyenne que chez les bovins de même âge, mais ce type d'observation ne peut être généralisé. En effet, selon Faye et al., [13], les adipocytes de dromadaire, dans la bosse comme dans le tissu adipeux péri-rénal, ont des volumes moyens compris entre 150 et 700 pL (diamètres moyens compris entre 50 et 120 microns), et ont donc des tailles comparables à celles observées chez la vache adulte et la brebis [26, 27].

Il existe une corrélation positive significative entre le nombre total de cellules adipeuses de la bosse et celui du gras péri-rénal, quel que soit l'âge ou le

sexe des dromadaires [13]. En revanche, l'analyse de variance indique qu'il n'y a pas de lien entre poids de la bosse ou du gras péri-rénal et le nombre total d'adipocytes, alors qu'il existe une corrélation positive avec la taille des adipocytes. Autrement dit, la variabilité des réserves adipeuses de la bosse et du gras péri-rénal est probablement liée à la fois à une variabilité de la taille des adipocytes (surtout intra-animal) et de leur nombre (surtout inter-animal). Il existe aussi une corrélation positive et significative entre les volumes moyens des adipocytes de la bosse et du gras péri-rénal (tableau 2). Le volume moyen des adipocytes de la bosse est de 341 pL (picolitres) vs 401 pour ceux du gras péri-rénal. Cette différence suggère que le stockage des réserves lipidiques s'opère en priorité autour des reins, puis dans la bosse dans un second temps.

Tableau 02 : Coefficients de corrélation entre indicateurs : mesure de liaison globale et test de la nullité du paramètre (niveau de confiance 95%) (d'après Faye et al., [13])

Critère a	Critère b	r	n
diam. Moy. Adipo bosse	diam. Moy. Adipo GPR ¹	0,33*	43
vol. Moy. Adipo bosse	vol. Moy. Adipo GPR	0,33*	43
poids bosse	vol. Moy. Adipo bosse	0,40*	39
poids GPR	vol. Moy. Adipo GPR	0,40*	38
poids bosse/poids carcasse	vol. Moy. Adipo bosse	0,22	39
poids GPR /poids carcasse	vol. Moy. Adipo GPR	0,003	38

¹ GPR = gras péri-rénal

L'indice « adiposité bosse » est le rapport entre le poids de la bosse et le poids de la carcasse (x 100). Il permet d'estimer

l'importance relative de la bosse par rapport à la carcasse. La relation entre cet indice et le nombre de cellules adipeuses par

gramme de bosse est négative, mais non significative [13]. Dans une autre étude où les dromadaires étaient soumis à des régimes alternativement hypo- et hyper-énergétiques [28], aucune corrélation n'a été observée entre le volume de la bosse et le volume des adipocytes. En revanche, la

relation était significative entre poids de la bosse et volume des adipocytes ou contenu en lipides (exprimé en g/100g de tissu). Cela conforte, l'intérêt de la mesure de la bosse (poids estimé selon les abaques proposés plus haut) pour évaluer le degré d'adiposité d'un animal (figure 6).

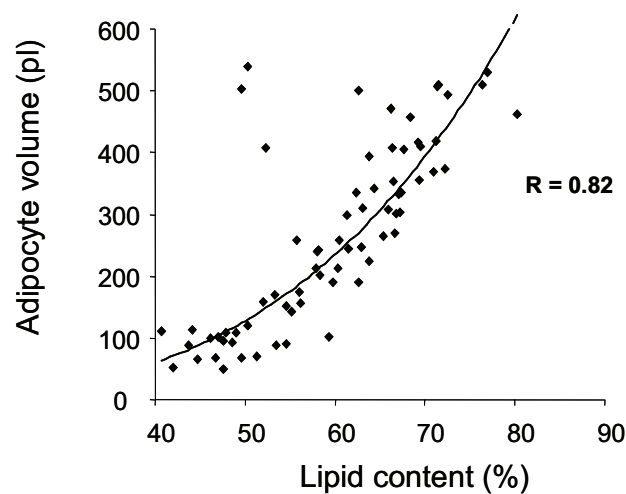


Figure 06 : Relations entre volume des adipocytes (en picolitres) et le contenu en lipides (en %) dans le tissu adipeux de la bosse (d'après Bengoumi et al., [28])

Si l'on se base sur les dynamiques de la taille des adipocytes en fonction du régime alimentaire [29], il apparaît qu'elle est plus lente chez le dromadaire par rapport aux autres espèces. Cette lenteur dans la mobilisation et la reconstitution suggère d'une part, une autre forme d'adaptation des dromadaires aux conditions de sous-nutrition [28] ou peut être également un indicateur de l'implication d'autres formes de réserves lipidiques comme le gras péri-rénal et le mésentère [13] ou encore d'autres dépôts adipeux au niveau des côtes, du sternum et du flanc comme chez la vache [30]. D'autre part, elle peut être expliquée par le siège du tissu adipeux. En

effet, le taux de croissance du tissu adipeux varie largement selon la localisation et le stade de la période de croissance [31]. La concentration de la majorité du tissu dans un emplacement unique (la bosse) se traduit sans doute par une certaine inertie dans les dynamiques de mobilisation et stockage reflétant un caractère d'adaptation à des conditions alimentaires incertaines.

Indicateurs métaboliques

Les indicateurs métaboliques reflétant le métabolisme lipidique chez le dromadaire sont les mêmes que dans les autres

espèces : dosage du cholestérol, des triglycérides, acides gras libres dans le sérum, voire détermination de la composition en acides gras de la bosse [11] sont parmi les indicateurs utilisés pour sonder le métabolisme lipidique des dromadaires [4]. Le dosage du glucose associé à celui des corps cétoniques (β -hydroxybutyrate en particulier) est aussi fréquemment utilisé chez les ruminants, mais le dromadaire a de ce point de vue un métabolisme plus proche de celui des monogastriques avec une glycémie élevée et l'absence de corps cétonique [32]. Mais comme souligné plus haut, ces indicateurs reflètent des modifications à court terme du statut énergétique de l'animal plutôt que de l'état des réserves corporelles. Récemment, la leptine, une hormone sécrétée par les cellules adipeuses (adipocytes) et qui participe à la régulation du métabolisme

énergétique en inhibant l'ingestion et la dépense énergétique, a été dosée chez le dromadaire [33]. Chez la plupart des espèces, la leptine augmente chez les individus gras [34], et pour un animal donné avec un état d'engraissement constant, la leptine plasmatique diminue lors d'une courte période de sous-nutrition [35]. Une telle diminution joue un rôle dans l'adaptation physiologique à des sous-nutritions transitoires de la plupart des ruminants [36].

La teneur en leptine plasmatique chez le dromadaire varie entre 2 et 9 ng/ml selon les quelques données disponibles dans cette espèce [22], et présente une corrélation positive avec la teneur en lipides de la bosse ou avec le volume moyen des adipocytes, mais de façon moins nette que chez les bovins (figure 7).

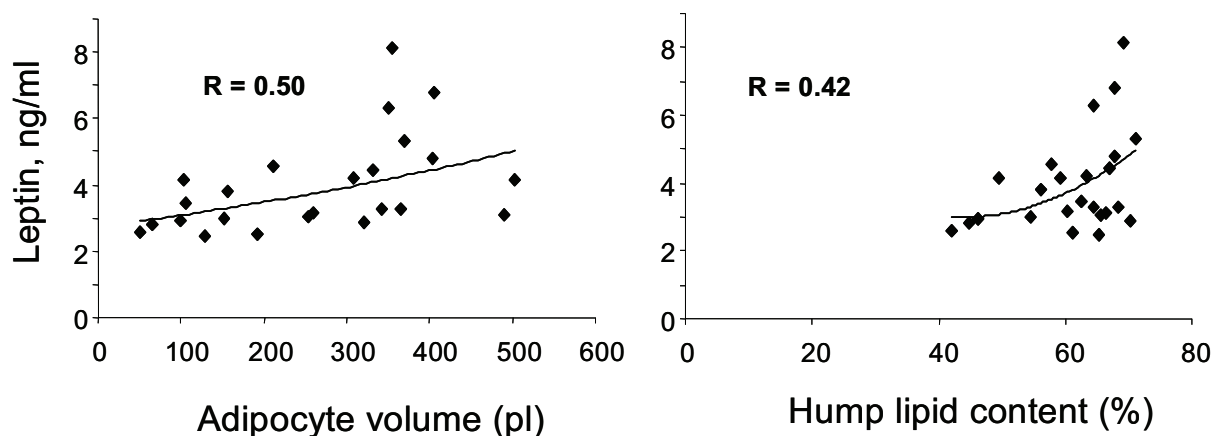


Figure 07: Leptine plasmatique chez le dromadaire et variation en fonction du volume des adipocytes et de la teneur en lipides de la bosse (d'après Chilliard et al., [22])

Toutefois, contrairement aux autres ruminants, le niveau de leptine chez le dromadaire semble relativement insensible aux changements de niveau alimentaire à court terme. La leptine cameline apparaît

globalement moins réactive que chez vache ou le mouton [22, 26]. Faut-il voir dans cette relative « insensibilité » du dromadaire à la leptine, un phénomène de résistance à des périodes de disette

répétées ? Des phénomènes physiologiques similaires sont rapportés par exemple pour les métallo-enzymes qui maintiennent leur activité en cas de déficience minérale, comme si le dromadaire anticipait les périodes défavorables transitoires par le maintien de ses principales fonctions métaboliques [37].

Conclusion

La gestion des réserves corporelles chez le dromadaire peut s'appuyer sur plusieurs outils plus ou moins sophistiqués permettant aussi bien le contrôle de l'état nutritionnel global par des techniques visuelles, baryométriques ou analytiques (dosage du volume des adipocytes et de la leptine plasmatique). En tout état de cause, ces outils appartiennent à une panoplie de méthodes utiles pour le zootechnicien qui souhaite évaluer l'état de nutrition énergétique du dromadaire sur parcours ou en situation expérimentale. Toutefois, les références disponibles chez le dromadaire demeurent fragmentaires et limitées géographiquement. L'essentiel des résultats obtenus dans la littérature s'appuient sur quelques expérimentations menées dans le sud-marocain et très secondairement en Arabie saoudite. Il serait instructif de renouveler ces observations dans des contextes variés et sur d'autres phénotypes.

Références bibliographiques

[1] **Blanc F., Dumont B., Brunschwig G., Bocquier F., Agabriel J.**, 2010. Robustesse, flexibilité, plasticité : des

processus adaptatifs révélés dans les systèmes 'délevage extensifs de ruminants. INRA Prod. Anim., 23 (1), 65-80

[2] **Chilliard Y., Bocquier F., Doreau M.**, 1998. Digestive and metabolic adaptation of ruminants on undernutrition and consequences on reproduction. *Reprod. Nutr. Dev.* 38, 131-152

[3] **Chehma A., Faye B., Bastianelli D.**, 2010. Valeurs nutritionnelles des plantes vivaces des parcours sahariens algériens pour dromadaires. *Revue Fourrages*, 204, 263-268

[4] **Chilliard Y.**, 1989. Particularités du métabolisme des lipides et du métabolisme énergétique chez le dromadaire. *Options méditerranéennes, série séminaires n°2*, 101-110.

[5] **Tibary A., Anouassi A.**, 1997. *Theriogenology in camelidae. Anatomy, physiology, pathology and artificial breeding.* Actes Editions Publ., Rabat, (Maroc), 489 pp

[6] **Faye B., Bengoumi M., Messad S., Chilliard Y.**, 2001. Fat storage and adipocyte patterns in camel: a tool for management of reproduction. *Advances in Reproduction*, 5, issue 3, 10c

[7] **Remond B., Robelin J. Et Chilliard Y.**, 1988. Estimation de la teneur en lipides des vaches laitières Pie Noires par la méthode de notation de l'état d'engraissement. *INRA Prod. Anim.*, 1, 111-114.

[8] **Vatankhah M., Talebi M.A., Zamani F.**, 2012. Relationship between ewe body condition score (BCS) at mating and reproductive and productive traits in Lori-

Bakhtiari sheep. *Small Rum. Res.*, 106, 105-109

[9] **Mendizabal J.A., Delfa R., Arana A., Purroy A.**, 2011. Body condition score and fat mobilization as management tools for goats on native pastures. *Small Rum. Res.*, 1-3, 121-127

[10] **Vall E., Ebangi A.L., Abakar O.** 2001. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 54 (3-4), 255-262.

[11] **Kadim I., Mahgoub O., Al-Maqbaly R.S., Annamalai K., Al-Ajmi D.S.**, 2002. Effects of age on fatty acid composition of the hump and abdomen depot fats of the Arabian camel (*Camelus dromedarius*). *Meat Sci.*, 62, 245-251

[12] **Kamili A., Bengoumi M., Faye B.**, 2006. Assessment of body condition and body composition in camel by barymetric measurements. *J. Camel Pract. Res.*, 13(1), 67-72.

[13] **Faye B., Bengoumi M., Messad S., Chilliard Y.**, 2002. Estimation des réserves corporelles chez le dromadaire. *Rev. Elev. Med. Vét. Pays Trop.*, 55, 69-78.

[14] **Delatour G.**, 1971. Inheritance of the hump in the camel, dromedary and cow. *Saug. Mitt.*, 19, 193-194

[15] Bazin S., Augeard P., Carteau M., Champion H., Chilliard Y., Cuyllé G., Disenhaus C., Durand G., Espinasse R., Gascoin A., Godineau M., Jouanne D., Ollier A., Rémond B., 1984. Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches Pie Noires. Brochure RNED Ed. ITEB, 31 pp.

[16] **Chilliard Y., Doreau M., Bocquier F., Lobley G.E.**, 1995. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to variations in food supply. In: M. Journet, E. Grenet, M.H. Farce, M. Thériez and C. Demarquilly (Editors), *Recent Developments in the Nutrition of Herbivores*. INRA Publications, Paris, 329-360

[17] **Faye B., Barnouin J.**, 1985. Objectivation de la propreté des vaches laitières et des stabulations. L'indice de propreté. *Bull. Tech. CRZV. Theix INRA*, 59, 61-67.

[18] **Hidane K., Moujjani Z., Zardoune M., Karib H., Bengoumi M.**, 2002. Camel meat quality. *Advanced course: Improvement of camel production*. CIHEAM-IAV Hassan II, Rabat, (Morocco), 45 pp

[19] **Abdallah H.R., Faye B.**, 2012. Phenotypic classification of Saudi Arabian camel (*Camelus dromedarius*) by their body measurements. *Emir. J. Food Agric.*, 24(3), 272-280

[20] **Pond C.M.**, 1984. Physiological and ecological importance of energy storage in the evolution of lactation: evidence for a common pattern of anatomical organization of adipose tissue in mammals. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, 51, 1-32.

[21] **Robelin J.**, 1981. Cellularity of bovine adipose tissues: developmental changes from 15 to 65 percent mature weight. *J. Lipid. Res.*, 22, 452-457.

[22] **Chilliard Y., Bengoumi M., Delavaud C., Faulconnier Y., Faye B.**, 2005. 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

[23] **Robelin J., Agabriel J.**, 1986. Estimation de l'état d'engraissement des bovins vivants et de la taille des cellules adipeuses, Bull. Tech. CRZV Theix 66, 34-41

[24] **Sebastien I, Chilliard Y, Purroy A, Jaime C.**, 1993. Supplémentation en céréales, état corporel et enzymes lipogéniques du tissu adipeux chez la brebis Aragonesa. Ann. Zootec., 42: 299-313

[25] **Robelin J., Chilliard Y., Agabriel J.**, 1989. Estimation of body lipids and proteins of Holstein Charolaise and Limousine cows by dilution technique and adipose cell size. In: Y. Van der Honing and W.H. Close (Editors), Proceedings of the 11. Symposium Energy Metabolism of Farm Animals. EAAP Publication, Pudoc, Wageningen, 43, 370-373

[26] **Bocquier F., Guillouet Ph., Barillet F., Chilliard Y.**, 1999. Comparison of three methods for the in vivo estimation of body composition in dairy ewes. Annales de Zootechnie, 48, 297-308

[27] **Chilliard Y., Rémond B., Agabriel J., Robelin J., Vérité R.**, 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation lactation. Bulletin Technique CRZV INRA Theix, 70, 117-131

[28] **Bengoumi M., Tabarani A., Sghiri A., Faulconnier Y., Faye B., Chilliard Y.**, 2005. Effects of overfeeding and underfeeding on body weight, lipid content and cellularity in the dromedary camel. Animal Res., 54 , 383-393.

[29] **Kamili A., Messad S., Bengoumi M., Chilliard Y., Faye B.**, 2008. Analyses multivariées de l'effet du régime alimentaire sur la mobilisation des réserves lipidiques chez le dromadaire. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop., 61 (2), 127-133

[30] **Ollier A., Cuyllé G., Pezant J.P. Et Chilliard Y.**, 1995. Reproductibilité de la notation de l'état corporel des vaches Pie Noire. Cah. Tech. INRA., 36, 17-26

[31] **Robelin J.**, 1986. Growth of adipose tissues in cattle, partitioning between depots, chemical composition and cellularity. Livest. Prod. Sci., 14 (1986), 349-364.

[32] **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. Méd. Vét. Pays Trop., 44, 325-334.

[33] **Delavaud C., Bengoumi M., Faye B., Sghiri A., Faulconnier Y., Tabarani A., Chilliard Y.**, 2004. Plasma leptin measurement in the camel and its relationships to adiposity and feeding level. 5th Int. Cong. On farm Animal endocrinology, Budapest, 3-7 July 2004, P-19

[34] **Delavaud C., Bocquier F., Chilliard Y., Keisler D.H., Gertler A., Kann G.**, 2000. Plasma leptin determination in ruminants : effect of nutritional status and

body fatness on plasma leptin concentration assessed by a specific RIA in sheep. *J. Endocrinol.*, 165, 519-526.

[35] Bocquier F., Bonnet M., Faulconnier Y., Guerre-Millo M., Martin P., Chilliard Y., 1998. Effects of photoperiod and feeding level on adipose tissue metabolic activity and leptin synthesis in the ovariectomized ewe. *Reprod. Nutr. Dev.*, 38, 489-498.

[36] Faulconnier Y., Delavaud C., Chilliard Y., 2003. Insulin and (or) dexamethasone effects on leptin production and metabolic activities of ovine adipose tissue explants. *Reprod. Nutr. Dev.*, 43, 237-250.

[37] Faye B., Bengoumi M., 2000. Le dromadaire face à a sous-nutrition minérale: un aspect méconnu de son adaptabilité aux conditions désertiques. *Sécheresse*, 11(3),155-161.