

# Impact de la densité de chargement associée au stress thermique sur les caractéristiques biochimiques de la viande chez le dromadaire

Abderrahim Moussahil<sup>1</sup> Mohamed Farh<sup>1</sup> Abdelghani Iddar<sup>2</sup>  
Mohammed El Khasmi<sup>1\*</sup>

## Mots-clés

*Camelus dromedarius*, viande de chameau, stress thermique, taux de charge, Maroc

© A. Moussahil et al., 2023



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Submitted: 27 June 2022

Accepted: 18 May 2023

Published: 01 June 2023

DOI: 10.19182/remvt.36951

## Résumé

Avant l'abattage, l'exposition des animaux d'élevage au stress thermique et au stress de transport routier en présence d'une forte densité de stockage dans les camions est capable d'altérer l'homéostasie et la qualité de la viande de ces animaux. Cette étude visait à étudier l'effet du stress thermique associé à une forte densité de chargement des animaux dans le véhicule avant l'abattage sur la composition chimique de la viande du dromadaire, au stade 24 h *post mortem*. L'analyse de la viande a été réalisée chez deux groupes de sept dromadaires : le groupe I a été transporté à 29–35 °C avec une densité de chargement de 1 animal / 1,74–2,13 m<sup>2</sup> ; le groupe II a été transporté à 21–23 °C avec une densité de chargement de 1 animal / 3,12–4,31 m<sup>2</sup>. Le stress thermique associé à la forte densité de chargement n'a pas modifié de manière significative les teneurs en eau, matières sèches, cendres, protéines et lipides, ni l'osmolalité de la viande cameline. Par contre, il a diminué significativement ( $p < 0,05$ ) le pH et l'activité de la catalase, et il a augmenté significativement ( $p < 0,05$ ) la capacité de rétention d'eau, les pertes en exsudat, en poids et à la cuisson, la conductivité électrique, et les teneurs en malondialdéhyde et en carbonyles.

■ Comment citer cet article : Moussahil A., Farh M., Iddar A., El Khasmi M., 2023. Impact of stocking density associated with heat stress in camels on the biochemical characteristics of their meat. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 76: 36951, doi: 10.19182/remvt.36951

## ■ INTRODUCTION

La viande maigre du dromadaire contient environ 78 % d'eau, 19 % de protéines, 3 % de lipides et 1,2 % de cendres avec une petite quantité de graisse intramusculaire et de cholestérol (Yousif et Babiker, 1989 ; Kadim et al., 2008). Cette viande est également une source de minéraux (Kadim et al., 2008) et de vitamines E (Abdelhadi et al., 2013) et D (El khasmi et Faye, 2019), constituant un apport nutritionnel non négligeable dans les zones arides et semi-arides.

1. Université Hassan II de Casablanca, Faculté des sciences Ben M'Sick, Laboratoire physiopathologie et génétique moléculaire, Casablanca, Maroc.

2. Unité de Biotechnologie et Ingénierie des Biomolécules, Division Sciences du Vivant, Direction Etudes et Recherche Scientifique, Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN), Rabat, Maroc.

\* Auteur pour la correspondance

Tél. : +212 6 70 40 0994 ; email : elkhasmimohammed@gmail.com

Plusieurs paramètres pourraient influencer la salubrité et la qualité organoleptique et technologique de la viande de dromadaire, comme le pH ultime, la capacité de rétention d'eau, la composition chimique, l'âge, la race, le type d'élevage et la saison (Abdelhadi et al., 2012 ; Kadim et al., 2013). Le statut oxydant *ante mortem* du muscle pourrait également altérer la salubrité et la qualité nutritionnelle et organoleptique de cette viande (Tabite et al., 2019). En outre, les étapes précédant l'abattage de l'animal nécessitent un contrôle rigoureux pour protéger son bien-être et maintenir la qualité de sa viande (Grandin, 2014). Chez le dromadaire, le stress thermique (Al-Jassim et Sejian, 2015 ; Gonzalez-Rivas et al., 2020) et la densité de chargement dans le véhicule de transport routier (El Khasmi et al., 2015 ; Lemrhamed et al., 2018) sont également considérés comme des facteurs de stress capables d'impacter l'homéostasie, la santé et la qualité de la viande de cette espèce. La présente étude évalue l'effet de la densité de chargement associée au stress thermique pendant le transport routier, avant l'abattage, sur les caractéristiques

biochimiques *post mortem* de la qualité et du statut antioxydant de la viande chez le dromadaire.

## ■ MATERIEL ET METHODES

### Site de l'étude et animaux

L'étude a été menée à l'abattoir municipal de Casablanca situé à l'ouest du Maroc (Afrique du Nord, latitude 33° 34' 42'' N, longitude 7° 36' 24'' O). Les mesures enregistrées pendant le jour ont été respectivement en avril et en septembre : moyennes annuelles de la température ambiante (Ta) 21–23 °C et 29–35 °C ; humidité relative (HR) 63–74 % et 67–84 % ; index UV 6–9 et 7,6–9,1 ; et vitesse du vent 10–24 km/h et 13–20 km/h.

L'étude a porté sur 14 dromadaires (*Camelus dromedarius*) mâles âgés de quatre à sept ans, pesant 290 à 350 kg et provenant de la région de Settat, à 60 kilomètres au sud de Casablanca.

Ces animaux vivaient dans des conditions similaires ; ils étaient nourris avec du concentré d'orge et de la paille de foin sèche et exposés aux mêmes conditions avant l'abattage. Ils étaient en bonne santé apparente et répartis en deux groupes de sept animaux chacun. Le groupe I a été transporté en septembre à une Ta, une HR et une densité de chargement élevées (respectivement 29–35 °C, 67–84 % et 1 animal par 1,74–2,13 m<sup>2</sup>), alors que le groupe II a été transporté en avril à une Ta, une HR et une densité de chargement faibles (respectivement 21–23 °C, 63–74 % et 1 animal par 3,12–4,31 m<sup>2</sup>). L'indice d'humidité de la température (IHT) correspondant pour avril et septembre a été respectivement de 19,80 et 29,09. Cet indice a été calculé selon Marai et al. (2001) en utilisant l'équation suivante :

$IHT = T^{\circ}C - [(0,31 - 0,031 \times RH) (T^{\circ}C - 14,4)]$ , où T<sup>°</sup>C est la température maximale et RH l'humidité relative (%). Il n'y a pas de stress thermique lorsque IHT est inférieur à 27,8 ; ainsi, les animaux du groupe I ont été les plus stressés par la chaleur.

Tous les dromadaires ont été privés d'eau et de nourriture et transportés dans une position accroupie en tenant les pattes antérieures serrées par une corde au niveau des genoux. Les animaux ont été soigneusement déchargés à leur arrivée à l'abattoir et ont été guidés calmement vers la station d'attente puis ont été abattus selon la méthode *halal* sans aucun étourdissement. L'abattage puis toutes les manipulations des carcasses ont été réalisés selon une pratique manuelle traditionnelle courante. Une fois les dromadaires en position de décubitus sterno-abdominal et les membres antérieurs en contention, la tête est immobilisée vers la queue, puis une coupe rapide avec un couteau bien aiguisé entre la base du cou et le thorax fait saigner rapidement l'animal par section de la veine jugulaire, les artères carotides, l'œsophage et la trachée, sans sectionner la moelle épinière.

### Prélèvements sanguins et tissulaires

Le sang a été prélevé par ponction de la veine jugulaire dans des tubes secs vers 7 heures du matin. Après l'abattage, la dépouille, l'éviscération, la découpe des carcasses et l'inspection vétérinaire, des échantillons du muscle droit antérieur de la cuisse (*rectus femoris*) ont été collectés dans des flacons stériles en plastique quatre heures après l'abattage au niveau du côté droit de la carcasse, à l'aide d'un couteau tranchant à une profondeur allant de 2 à 3 cm. Les échantillons sanguins et tissulaires ont été transportés pendant 10 à 15 min dans des conditions aseptiques, dans une glacière à 4 °C, de l'abattoir au laboratoire de physiopathologie et génétique moléculaire de la faculté des sciences Ben M'Sik à Casablanca. Le sang a été centrifugé à 1789 g pendant 10 min, et le sérum a été réparti en aliquotes puis stocké à -20 °C jusqu'aux analyses ultérieures. Les échantillons musculaires ont été stockés à 4 °C pendant 24 h *post mortem*, puis conservés à -20 °C dans des sacs en plastique jusqu'aux analyses ultérieures.

### Teneur en eau, matière sèche et cendres

Les teneurs en eau, matière sèche et cendres des échantillons ont été analysées selon les méthodes standard (AOAC, 2000).

### pH ultime

Le pH ultime (pHu) du muscle a été mesuré à 18 °C à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode en verre combiné et normalisé aux pH 4 et 7. Le pH a été mesuré en double sur 2 g de viande hachée et homogénéisée dans 20 ml d'iodoacétate de Na (5 mmol/L).

### Capacité de rétention d'eau, et pertes en poids et exsudat

Après élimination de la graisse externe et de l'aponévrose, la capacité de rétention d'eau (CRE) a été estimée après centrifugation de 5 g de viande hachée à 4 000 g pendant 15 min pour exprimer la quantité de jus relarguée (mg/g de viande). Les pertes en poids et en exsudat ont été mesurées selon la méthode de Honikel (1998). L'échantillon de muscle frais a été suspendu à l'intérieur d'un sac plastique à 6 °C dans le sens des fibres. Le muscle a été pesé avant suspension et après stockage *post mortem*, et la perte de poids a été exprimée en pourcentage du poids initial. La perte en exsudat a été mesurée en pesant le jus récupéré dans une cuve lors de la suspension du muscle et exprimée en pourcentage du poids initial.

### Pertes d'eau à la cuisson

Les échantillons de viande (50 g) ont été placés dans un sac en polyéthylène et totalement immergés dans un bain-marie à 70 °C pendant 90 min. Après la cuisson, chaque échantillon a été refroidi dans de l'eau courante du robinet pendant 20 min dans ses fluides exsudés, puis retiré et séché avec une serviette en papier. La perte à la cuisson a été déterminée comme la différence de poids de l'échantillon avant et après la cuisson et exprimée en pourcentage du poids avant la cuisson (Honikel, 1998).

### Conductivité électrique et osmolalité

La conductivité électrique (CE) (mV) a été enregistrée avec un conductimètre modèle Hanna EC 215 muni d'une électrode de quatre anneaux HI 76303. L'appareil a été étalonné avec une solution de chlorure de potassium (0,01 M) dont la CE est connue pour une température de référence de 25 °C. Les valeurs de CE ont été ajustées automatiquement en fonction de la température de l'échantillon.

L'osmolalité a été mesurée sur le jus obtenu après broyage de 50 g de viande puis centrifugation pendant 30 min à 2795 g. La mesure a été réalisée à l'aide d'un osmomètre automatique (Gonotec Osmomat 030) et exprimée en mOsm/kg H<sub>2</sub>O.

### Extrait de viande

Les échantillons de viande (1 g) ont été broyés et homogénéisés au froid dans 5 ml de tampon Tris-HCl 50 mM (pH 7,5) contenant : EDTA 1 mM, 2-mercaptoéthanol 10 mM, glycérol 10 % (v/v), DTT 1 mM, PMSF 1 mM. L'extrait brut a été préparé à 0 °C par périodes de broyage de 25 s, alternées avec 30 s de repos pour éviter un réchauffement excessif des échantillons, puis a été centrifugé à 20 000 g pendant 20 min à 4 °C pour récupérer le surnageant.

### Dosage des protéines totales et des lipides

Les protéines totales ont été déterminées par la méthode de Bradford (1976), basée sur l'interaction entre le colorant bleu vif de Coomassie BG-250 et les macromolécules protéiques contenant des acides

aminés avec des chaînes latérales basiques ou aromatiques. L'extrait de viande filtré (0,6 ml) a été mélangé avec 2,4 ml du réactif de Bradford. Après 5 min, l'absorbance a été mesurée à 595 nm. La matière grasse brute a été analysée par la perte de poids après une extraction de six cycles avec de l'éther de pétrole dans un appareil Soxhlet. A la fin de l'extraction, l'éther a été évaporé sur un évaporateur rotatif, la matière grasse brute a été pesée et son pourcentage a été ensuite calculé comme suit (AOAC, 2000) :

Poids de la matière grasse (%) = (matières grasses brutes / poids de l'échantillon) × 100

### Malondialdéhyde

Les substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBA), formées après la réaction du TBA avec les produits aldéhydiques de la peroxydation lipidique tissulaire comme le malondialdéhyde (MDA), ont été mesurées par colorimétrie selon Samokyszyn et Marnett (1990). Un millilitre de l'extrait tissulaire a été mélangé à 1 ml d'une solution contenant du TBA à 1 %, l'acide trichloroacétique (TCA) à 30 % et l'acide chlorhydrique (HCl) à 0,25 M. Après incubation pendant 15 min à 100 °C, le mélange a été transféré dans un bain de glace pour arrêter la réaction puis centrifugé à 1000 g pendant 10 min ; l'absorbance du surnageant a été déterminée à 535 nm contre un blanc contenant 2 ml d'une solution de TBA à 1 %. Les résultats ont été exprimés en nmoles de MDA/mg de protéines en utilisant le coefficient d'absorption molaire  $1,56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

### Carbonyles

L'évaluation de l'oxydation des protéines a été évaluée par l'absorbance des groupes protéiques carbonyles à 370 nm en utilisant le coefficient d'extinction molaire de l'hydrazone ( $22\,000 \times \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) formée après dérivatisation des groupes carbonyles avec la 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH) (Levine et al., 1994). Cinq cent microlitres de solution protéique à 1,2 mg/ml ont été mélangés à du DNPH dans l'HCl 2 M à la concentration finale de 5 mM. Après 1 h de réaction dans l'obscurité, les protéines ont été précipitées avec 10 % de TCA glacé et lavées avec 10 % de TCA, ensuite ont été effectuées deux étapes de lavage avec de l'éthanol/acétate d'éthyle (1:1 v/v). Le culot a été dissous dans 1 ml de chlorhydrate de guanidine 6,0 M dans un tampon phosphate 20 mM (pH 6,5). Les échantillons de protéines témoins qui ont subi toutes les étapes à l'exception de la dérivatisation du DNPH ont été utilisés comme référence.

### Activité de la catalase

L'activité de la catalase CAT dans l'extrait tissulaire a été mesurée par colorimétrie à 240 nm, par la variation de la densité optique consécutive à la dismutation du  $\text{H}_2\text{O}_2$  en eau et en oxygène à une température d'incubation de 25 °C (Aebi, 1974). Dix microlitres de l'extrait tissulaire ont été mis à réagir avec 2,9 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$  7,5 mM dans un tampon de phosphate de potassium 50 mM. La réaction (perte de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a été surveillée en mesurant l'absorbance à 240 nm pendant les 30 premières secondes. Une unité (U) de catalase a été définie comme la quantité d'enzymes nécessaire pour décomposer 1 mmol de  $\text{H}_2\text{O}_2$  par min à 25 °C. L'activité de la CAT a été exprimée en U/mg de protéine en utilisant le coefficient d'extinction molaire de  $0,041 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

### Activité de la superoxyde dismutase

La superoxyde dismutase (SOD) dans l'extrait a été quantifiée selon la méthode de Paoletti et al. (1986). L'oxydation du NADH par les radicaux superoxydes est suivie à 340 nm dans le mélange réactionnel contenant 5 mM d'EDTA, 2,5 mM de  $\text{MnCl}_2$ , 3,9 mM de 2-mercaptoéthanol et 10  $\mu\text{l}$  de l'extrait brut dans le tampon phosphate de potassium 50 mM. La réaction s'obtient par l'addition de NADH à 0,27 mM comme concentration finale.

### Analyses statistiques

Toutes les valeurs ont été exprimées en moyenne ( $\pm$  erreur standard) par rapport à la moyenne. Les données ont été analysées à l'aide de l'analyse de la variance (Anova) avec la procédure des modèles linéaires généraux (SAS, 2005) avec  $p < 0,05$  considéré comme le niveau de signification.

## ■ RESULTATS

### Teneur en eau, matière sèche, cendres, protéines et lipides

Au stade 24 h *post mortem*, les teneurs en eau, en matières sèches et en cendres dans la viande du groupe I (animaux transportés sous la chaleur avec une densité de chargement élevée) n'ont pas montré de variation significative par comparaison à celles du groupe II (animaux transportés à une Ta modérée avec une faible densité de chargement) : respectivement  $74,2 \pm 1,31 \%$  vs  $76,6 \pm 1,41 \%$  ;  $25,8 \pm 1,33 \%$  vs  $23,4 \pm 1,32 \%$  ; et  $14 \pm 0,3 \%$  vs  $15 \pm 0,3 \%$ . De même, aucune variation significative des teneurs en protéines et en lipides n'a été observée entre la viande du groupe I et celle du groupe II : respectivement  $178,11 \pm 32,45 \%$  vs  $194,52 \pm 35,24 \%$  et  $50,14 \pm 12,33 \%$  vs  $56,23 \pm 13,16 \%$ .

### pHu, pertes en exsudat, en poids et à la cuisson

La viande des animaux du groupe I a montré des valeurs de pHu significativement ( $p < 0,05$ ) plus basses, et des valeurs d'exsudation, des pertes en poids et à la cuisson significativement ( $p < 0,05$ ) plus élevées que celles de la viande des animaux du groupe II (respectivement  $5,1 \pm 0,21 \%$  vs  $5,7 \pm 0,20 \%$  ;  $7,2 \pm 0,6 \%$  vs  $4,3 \pm 0,4 \%$  ;  $4,25 \pm 1,04 \%$  vs  $2,12 \pm 0,83 \%$  et  $28,54 \pm 2,34 \%$  vs  $22,63 \pm 2,15 \%$ ).

### Conductivité électrique, capacité de rétention d'eau et osmolalité

La conductivité électrique (CE) et la CRE dans la viande du groupe I ont été significativement ( $p < 0,05$ ) plus élevées que celles du groupe II (respectivement  $52,45 \pm 4,37 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$  vs  $41,59 \pm 3,53 \mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ , et  $161,46 \pm 23,24 \text{ mg}/\text{g}$  vs  $112,13 \pm 21,33 \text{ mg}/\text{g}$ ). Au contraire, aucune différence significative de l'osmolalité n'a été observée entre la viande des groupes I et II (respectivement  $460,32 \pm 70,45 \text{ mosm}/\text{kg H}_2\text{O}$  vs  $410,12 \pm 65,21 \text{ mosm}/\text{kg H}_2\text{O}$ ).

### Malondialdéhyde, carbonyles, et activité de la catalase et de la superoxyde dismutase

La viande des animaux du groupe I a montré des teneurs en MDA et en carbonyles significativement ( $p < 0,05$ ) plus élevées, et des activités de la CAT et de la SOD significativement ( $p < 0,05$ ) plus basses que celles analysées dans la viande des animaux du groupe II (respectivement  $2,81 \pm 0,02 \text{ nmol}/\text{mg}$  vs  $1,45 \pm 0,02 \text{ nmol}/\text{mg}$ ,  $1,83 \pm 0,02 \text{ nmol}/\text{mg}$  vs  $1,47 \pm 0,01 \text{ nmol}/\text{mg}$ ,  $9,00 \pm 0,56 \mu\text{mol}/\text{h}/\text{mg}$  vs  $10,80 \pm 0,61 \mu\text{mol}/\text{h}/\text{mg}$ , et  $7,86 \pm 0,11 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$  vs  $9,23 \pm 0,14 \mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ ).

## ■ DISCUSSION

La diminution de l'humidité et de la teneur en cendres dans la viande dans les conditions de stress (transport par forte chaleur et forte densité de chargement) auxquelles les dromadaires ont été exposés n'a pas été significative. Les valeurs de la teneur en eau, en matière sèche et en cendres dans la viande de dromadaire varient en fonction



de plusieurs paramètres comme la race, le sexe, l'individu, l'état sanitaire, l'alimentation et les conditions d'abattage (Ould El Hadj et al., 2002 ; Kadim et al., 2006 ; El Khasmi et al., 2013). Ould El Hadj et al. (2002) montrent dans trois classes d'âges de dromadaire (< 2 ans, 2-5 ans et 5-20 ans) que la teneur de la viande en eau diminue (respectivement 77,07 %, 76,08 % et 74,8 %) alors que celle de la matière sèche augmente (respectivement 22,93 %, 23,92 % et 25,20 %) avec l'âge. Au contraire, Kadim et al. (2008) rapportent que les teneurs en eau et en minéraux ne varient pas avec l'âge de l'animal. Si la teneur de la viande en cendres représente 1 % chez le dromadaire, elle est de 1 à 2 % chez les ovins (Staron, 1982), 2,43 % chez le lama et 2,5 % chez l'alpaga (Cristofanelli et al., 2004).

Les teneurs en protéines et en lipides dans la viande des dromadaires utilisés dans cette étude n'ont pas été influencées par les conditions de stress de transport avant l'abattage (chaleur et densité de chargement). Selon Benaïssa et al. (2014), la teneur en protéines dans la viande de dromadaire varie entre 18,01 g / 100 g au premier jour et 16,44 g / 100 g au cinquième jour *post mortem* à 4 °C.

L'évolution des transformations biochimiques *post mortem* au niveau du muscle est largement impactée par le pH, la température, la conductivité électrique et la capacité de rétention d'eau de cet organe. Ces paramètres capables de conditionner la composition organoleptique et la qualité des viandes (Harkati, 2007) sont dépendants des conditions de stress auxquelles l'animal a été exposé avant l'abattage. Selon la présente étude, la viande des dromadaires ayant été exposés au stress induit par le transport routier et la chaleur avec une forte densité de chargement dans le véhicule a montré une diminution significative du pHu et de la CRE, associée à une augmentation significative des pertes en poids, exsudat et à la cuisson, par comparaison aux dromadaires ayant été transportés dans des conditions de températures et de densité de chargement modérées. D'après la littérature, après l'abattage, l'augmentation du taux de lactate durant la glycolyse anaérobie, associée à l'épuisement de réserves en glycogène, induit la chute du pH musculaire jusqu'à sa stabilisation au stade 24 h *post mortem* (Thompson, 2002). Selon Staron (1982), cette baisse joue un grand rôle dans l'évolution biochimique du muscle « en viande, car à un pH 5,5 à 5,8 il y a activation des enzymes protéolytiques, qui jouent un rôle important dans la qualité organoleptique de la viande au cours de la maturation ». En outre, un pHu bas provoque une décoloration de la viande, alors qu'un pHu élevé lui donne une couleur sombre (Frayssé et Darre, 1989). Chez le dromadaire, Kadim et al. (2009) et Abdelhadi et al. (2012) signalent que le pH musculaire décroît progressivement après l'abattage, avec des valeurs physiologiques de 7,0 à 7,2 passant à des valeurs voisines de 5,7 et 6,0 au stade 24 h *post mortem*. Chez la même espèce, il été montré que le stress de préabattage induit par le transport routier, la distance du trajet, la chaleur et la densité de chargement, était capable d'altérer l'homéostasie et la composition organoleptique de la viande (El Khasmi et al., 2010 ; 2015 ; Lemrhamed et al., 2018 ; Tabite et al., 2019). La CRE de la viande, l'un des facteurs qui influence sa qualité, est due à 97 % aux protéines myofibrillaires (Smyth et al., 1999), et sa diminution est observée jusqu'à la fin de la rigidité cadavérique (Durand et al., 2001). L'augmentation de la quantité d'eau perdue par la viande de dromadaire au cours du temps *post mortem* peut être due à sa faible teneur en gras (Cristofanelli et al., 2004) et à l'augmentation de la vitesse de chute du pH musculaire (Boakye et Mittal, 1993).

L'étude a également montré une augmentation significative de la conductivité, et non significative de l'osmolalité de la viande des dromadaires stressés par la chaleur et la densité de chargement. Juste après la mort de l'animal, la pression osmotique augmente avec la diminution du pH et tend à se stabiliser à la fin de la période de la rigidité cadavérique. « Parallèlement à l'acidification du muscle, la pression osmotique augmente à cause de l'accumulation d'acide lactique et d'autres métabolites », ce qui favorise la solubilisation des protéines

myofibrillaires et accélère la maturation du muscle en viande (Ouali, 1991 ; Bonnet et al., 1992). Les pertes d'eau par la viande augmentent progressivement en fonction de la chute du pH et se traduisent par la diminution des espaces intra- et inter-myofibrillaires expulsant l'eau dans l'espace extracellulaire (Boakye et Mittal, 1993).

Dans la présente étude, la viande des dromadaires ayant été exposés avant l'abattage au stress induit par le transport routier à la chaleur, associée à la présence d'une forte densité de chargement, a montré une augmentation significative des taux de MDA et de carbonyles, et une diminution significative de l'activité de la CAT et de la SOD au stade 24 h *post mortem*. Ceci pourrait être dû à un stress oxydant responsable d'une production élevée de radicaux libres dans le muscle (Santé-Lhoutellier et al., 2008), d'où la peroxydation lipidique et l'altération des protéines observées. En effet, il a été montré que des dromadaires ayant été transportés à haute densité de chargement, avaient des taux sanguins de cortisol et de MDA significativement plus élevés que ceux de dromadaires ayant été transportés à faible densité de chargement (Lemrhamed et al., 2018). Par ailleurs, chez la même espèce, Tabite et al. (2019) rapportent que les taux sanguins de cortisol comme indicateur de stress sont significativement et positivement corrélés avec l'intensité du stress oxydant au niveau de la viande. En outre, des porcs transportés à 30 °C montrent des taux de MDA significativement plus élevés et une activité de la CAT significativement plus faible que ceux transportés à 25 °C (Azad et al., 2010). Le même résultat sous l'effet du stress thermique est rapporté chez le poulet (Mahmoud et Edens, 2003 ; Zhang et al., 2017).

## ■ CONCLUSION

Chez le dromadaire, le stress avant l'abattage induit par la chaleur associée à une forte densité de chargement dans le véhicule pendant le transport routier a altéré significativement la composition biochimique et le statut antioxydant de la viande. Cette altération a été marquée par une diminution significative des valeurs de pHu, CRE et des activités CAT et SOD, associée à une augmentation significative des pertes de poids, d'exsudation et à la cuisson, de la conductivité électrique, et des teneurs en MDA et en carbonyles. L'impact de ces mêmes conditions de stress de préabattage sur l'homéostasie du dromadaire et l'usage d'antioxydants naturels seront évalués dans des études ultérieures.

## Remerciements

Les auteurs remercient les propriétaires et les transporteurs des dromadaires, et le personnel et le responsable du service vétérinaire des abattoirs municipaux de Casablanca, Maroc, pour leur contribution dans la conduite de cette étude.

## Conflits d'intérêts

L'étude a été réalisée sans conflit d'intérêts.

## Déclaration des contributions des auteurs

MA a effectué les analyses biochimiques et rédigé la première version du manuscrit. IA et FM ont participé à la collecte des données, à l'exploitation des résultats et à la révision du manuscrit. EKM a contribué à la conception et à la planification de l'étude, et à la rédaction du manuscrit.

## REFERENCES

- Abdelhadi O.M.A., Babiker S.A., Hocquette J.F., Picard B., Durand D., Faye B., 2013. Effect of ageing on meat quality of the one humped camel (*Camelus dromedarius*). *Emir. J. Food Agric.* **25** (2): 150-158, doi: ff10.9755/ejfa.v25i2.15402

- Abdelhadi O.M.A., Babiker S.A., Picard B., Jurie C., Jailler R., Hocquette J.F., Faye B., 2012. Effect of season on contractile and metabolic properties of desert camel muscle (*Camelus dromedarius*). *Meat Sci.*, **90**: 139-144, doi: 10.1016/j.meatsci.2011.06.012
- Aebi H., 1974. Evaluation de l'activité de la catalase. In: Methods of Enzymatic Analysis (Ed. Bergmeyer H.-U.). Verlag chimie GmbH, Weinheim, Allemagne, 673-684, doi: 10.1016/B978-0-12-091302-2.50032-3
- Al-Jassim R., Sejian V., 2015. Climate change and camel production: impact and contribution. *J. Camelid Sci.*, **8**: 1-17
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Official Methods of Analysis. Gaithersburg, Md, USA: AOAC International
- Azad M.A.K., Kikusato M., Maekawa T., Shirakawa H., Toyomizu M., 2010. Metabolic characteristics and oxidative damage to skeletal muscle in broiler chickens exposed to chronic heat stress. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, **155**: 401-406, doi: 10.1016/j.cbpa.2009.12.011
- Benaissa A., Ould El Hadj-Khelil A., Adamou A., Babelhadj B., Mehiring M., Boufaghes B., Attoussi M., et al., 2014. Qualité de la viande de dromadaire dans les abattoirs d'Ouargla en Algérie. I. Quelques caractéristiques physico-chimiques de la viande au cours de la maturation. *Rev. Elev. Med. Vet Pays Trop.*, **67** (4): 223-228, doi: 10.19182/remvt.20564
- Boakye K., Mittal G.S., 1993. Change in pH and water-holding properties of *Longissimus dorsi* muscle during beef ageing. *Meat sci.* **34**: 335- 349, doi: 10.1016/0309-1740(93)90082-5
- Bonnet M., Ouali A., Kopp J., 1992. Beef muscled osmotic pressure as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). *Int. J. Food Sci.*, **27**: 399-408, doi: 10.1111/j.1365-2621.1992.tb01205.x
- Bradford M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, **72** : 248-254
- Cristofanelli S., Antonini T., Torres D., Polidori P., Renieri C., 2004. Meat and carcass quality from Peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*). *Meat Sci.*, **66**: 589-593, doi: 10.1016/S0309-1740(03)00174-8
- Durand D., Gruffat-Mouty D., Hocquette J.F., Micol D., Dubroeuq H., Jailler R., Jadhao S.B., et al., 2001. Relations entre caractéristiques biochimiques et métaboliques des muscles et qualités organoleptiques et nutritionnelles de la viande chez le bouvillon recevant des rations supplémentées en huile de tournesol riche en AGPI n-6. *Renc. Rech. Ruminants*, **8**: 75-78
- El Khasmi M., Riad F., Safwate A., Tahri E.H., Farh M., El Abbadi N., Coxam V., et al., 2010. Effects of preslaughter stress on meat quality and phosphocalcic metabolism in Camels (*Camelus dromedarius*). *J. Camelid Sci.*, **3**: 33-38.
- El Khasmi M., Chakir Y., Riad F., Safwate A., Tahri E.H., Farh M., El Abbadi N., et al., 2013. Effects of Transportation Stress during the Hot-Dry Season on Some Haematological and Physiological Parameters in Moroccan Dromedary Camels (*Camelus dromedarius*). *J. Life Sci.*, **7** (1): 13-25
- El Khasmi M., Chakir Y., Bargaâ R., Barka K., Lektib I., El Abbadi N., Belhouari A., et al., 2015. Impact of transport distance on stress biomarkers levels in dromedary camel (*Camelus dromedarius*). *Emir. J. Food Agric.*, **27** (6): 507-512. doi: 10.9755/ejfa.2015.04.058
- El Khasmi M., Faye B., 2019. Blood, milk and meat vitamin D in the dromedary camel. *Iran. J. Appl. Anim. Sci.*, **9** (4): 379-387
- Frayse J.L., Darre A., 1989. Production des viandes. Volume I. Ed Technique et documentation, Lavoisier, Paris, France, 374 p.
- Grandin T., 2014. Animal welfare and society concerns finding the missing link. *Meat Sci.*, **98** (3): 461-469, doi: 10.1016/j.meatsci.2014.05.011
- Gonzalez-Rivas P.A., Chauhan S.S., Ha M., Fegan N., Dunshea F.R., Warner R.D., 2020. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Sci.*, **162**: 108025, doi: 10.1016/j.meatsci.2019.108025
- Harkati A., 2007. Etude des paramètres biologiques intervenant dans l'attendrissage naturel de la viande ovine et leurs relations au facteur type de muscle. Mémoire Magister, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 100 p.
- Honikel K.O., 1998. Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of Meat. *Meat Sci.*, **49**: 447-457, doi: 10.1016/S0309-1740(98)00034-5
- Kadim I.T., Mahgoub O., Al-Kindi A., Al-Marzooqi W., Al-Saqri N.M., 2006. Effects of transportation at high ambient temperatures on physiological responses, carcass and meat quality characteristics of three breeds of Omani goats. *Meat Sci.*, **73**: 626-634, doi: 10.1016/j.meatsci.2006.03.003
- Kadim I.T., Mahgoub O., Purchas R.W., 2008. A review of the growth, and of the carcass and meat quality characteristics of the one-humped camel (*Camelus dromedarius*). *Meat Sci.*, **80**: 555-569, doi: 10.1016/j.meatsci.2008.02.010
- Kadim I.T., Al-Hosni Y., Mahgoub O., Al-Marzooqi W., Khalaf S.K., Al-Maqbaly R.S., Al-Sinawi S.S.H., et al., 2009. Effect of low voltage electrical stimulation on biochemical and quality characteristics of *Longissimus thoracis* muscle from one humped camel (*Camelus dromedarius*). *Meat Sci.*, **82**: 77-85, doi: 10.1016/j.meatsci.2008.12.006
- Kadim I.T., Al-Karousi A., Mahgoub O., AlMarzooqi W., Al-Maqbaly R., Khalaf S.K., Raiymbek G., 2013. Physical, chemical, quality and histochemical characteristics of infraspinatus, triceps brachii, longissimus thoracis, biceps femoris, semitendinosus, and semimembranosus of dromedary camel (*Camelus dromedarius*) muscles. *Meat Sci.*, **93**: 564-571, doi: 10.1016/j.meatsci.2012.11.028
- Lemrhamed A., Farh M., Riad F., El Abbadi N., Tahri E., Belhouari A., El Khasmi M., 2018. Evaluation of stress responses induced by the stocking density in dromedary camel (*Camelus dromedarius*). *Emir. J. Food Agric.*, **30** (9): 803-808, doi: 10.5455/ijlr.20190527012442
- Levine R.L., Williams J.A., Stadtman E.R., Shacter E., 1994. Carbonyl assays for determination of oxidatively modified proteins. *Methods Enzymol.*, **233**: 346-357, doi: 10.1016/S0076-6879(94)33040-9
- Mahmoud Z., Edens F.W., 2003. Influence of selenium sources on age-related and mild heat stress-related changes of blood and liver glutathione redox cycle in broiler chickens (*Gallus domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol. - B: Biochem. Mol. Biol.*, **136** (4): 921-934, doi: 10.1016/S1096-4959(03)00288-4
- Marai I., Ayyat M., Abd El-Monem U., 2001. Growth Performance and Reproductive Traits at First Parity of New Zealand White Female Rabbits as Affected by Heat Stress and Its Alleviation under Egyptian Conditions. *Trop. Anim. Health Prod.*, **33**: 451-462, doi: 10.1023/A:1012772311177
- Ouali A., 1991. Sensory quality of meat as affected by muscle biochemistry and modern technologies. In: Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production (Eds. Fiems L.O., Cottyn B.G., Demeyer D.I.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Pub, BV, 85-105, doi: 10.1016/B978-0-444-88930-0.50012-2
- Ould El Hadj M.D., Bouzrag B., Bouras A., Moussaoui S., 2002. Etude comparative de quelques caractéristiques chimiques et physicochimiques de la viande du dromadaire chez des individus du type Sahraoui, différents âges. *Rech. Agron.*, **10** : 95-102
- Paoletti F., Aldinucci D., Mocali A., Caparrini A., 1986. A sensitive spectrophotometric method for the determination of superoxide dismutase activity in tissue extracts. *Anal. Biochem.*, **154**: 536-541, doi: 10.1016/0003-2697(86)90026-6
- Samokyszyn V.M., Marnett L.J., 1990. Inhibition of liver microsomal lipid peroxidation by 13-cis-retinoic acid. *Free Radic. Biol. Med.*, **8** (5): 491-496, doi: 10.1016/0891-5849(90)90063-0
- Santé-Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Greve E., Gatellier P., 2008. Effect of Meat Cooking on Physicochemical State and in Vitro Digestibility of Myofibrillar Proteins. *J. Agric. Food Chem.* **56** (4): 1488-1494, doi: 10.1021/jf072999g
- SAS, 2005. Statistical Analysis System Package. Cary, NC: SAS Institute, Inc.
- Smyth A.B., O'Neill E., Smith D.M., 1999. Functional properties of muscle proteins in processed poultry products. In: Poultry Meat Science (Eds. Richardson R.I., Mead G.C.). CAB International, 377-396, doi: 10.1201/9781420042177.ch11
- Staron, 1982. Viande et alimentation humaine. Edition Apria, Paris, France, 110 p.
- Tabite R., Lemrhamed A., El Abbadi N., Belhouari A., Faye B., El Khasmi M., 2019. Relationship between circulating levels of cortisol at slaughter and meat physico-chemical and oxidant stress parameters in dromedary camels. *Emir. J. Food Agric.*, **31** (11): 874-883, doi: 10.9755/ejfa.2019.v31.i11.2031
- Thompson J., 2002. Managing meat tenderness. *Meat Sci.*, **62**: 295-305, doi: 10.1016/S0309-1740(02)00126-2
- Yousif O.K., Babiker S.A., 1989. The desert camel as meat animals. *Meat Sci.*, **26**: 245-254, doi: 10.1016/0309-1740(89)90010-7
- Zhang C., Zhao X., Wang L., Yang L., Chen X., Geng Z., 2017. Resveratrol beneficially affects meat quality of heat-stressed broilers which is associated with changes in muscle antioxidant status. *Anim. Sci. J.*, **88**:1569-1574, doi: 10.1111/asj.12812

## Summary

**Moussahil A., Farh M., Iddar A., El Khasmi M.** Impact of stocking density associated with heat stress in camels on the biochemical characteristics of their meat

Before slaughter, exposure of farm animals to heat stress and road transport stress along with high stocking density in trucks is capable of altering the homeostasis and meat quality of these animals. The aim of this study was to investigate the effect of heat stress, associated with high stocking density of animals in the vehicle before slaughter, on the chemical composition of dromedary meat at 24-h postmortem. Meat analysis was performed in two groups of seven dromedaries: group I was transported at 29–35°C with a stocking density of 1 animal / 1.74–2.13 m<sup>2</sup>; group II was transported at 21–23°C with a density of 1 animal / 3.12–4.31 m<sup>2</sup>. The heat stress associated with the high stocking density did not significantly alter the water, dry matter, ash, protein, and lipid contents, nor the osmolality of the camel meat. However, it significantly ( $p < 0.05$ ) decreased pH and catalase activity, and significantly ( $p < 0.05$ ) increased water retention capacity, losses in exudate, weight and at cooking, electrical conductivity, and malondialdehyde and carbonyl contents.

**Keywords:** *Camelus dromedarius*, camel meat, heat stress, stocking density, Morocco

## Resumen

**Moussahil A., Farh M., Iddar A., El Khasmi M.** Impacto de la densidad de carga asociada al estrés térmico en las características bioquímicas de la carne de dromedario

Antes del sacrificio, la exposición del ganado al estrés térmico y al estrés del transporte por carretera con la presencia de altas densidades de carga en los camiones puede de alterar la homeostasis y la calidad de la carne de los animales. El objetivo de este estudio era investigar el efecto del estrés térmico asociado a una alta densidad de carga de animales en el vehículo antes del sacrificio sobre la composición química de la carne de dromedario en la fase 24 h *post mortem*. El análisis de la carne se realizó en dos grupos de siete dromedarios: el grupo I fue transportado a 29–35 °C con una densidad de carga de 1 animal / 1,74–2,13 m<sup>2</sup>; el grupo II fue transportado a 21–23 °C con una densidad de 1 animal / 3,12–4,31 m<sup>2</sup>. El estrés térmico asociado a la alta densidad de población no alteró significativamente los contenidos de agua, materia seca, cenizas, proteínas y lípidos, ni la osmolalidad de la carne de camello. En cambio, disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) el pH y la actividad de la catalasa, y aumentaron significativamente ( $p < 0,05$ ) la capacidad de retención de agua, las pérdidas en exudado, en peso y en la cocción, la conductividad eléctrica, y los contenidos de malondialdehído y carbonilos.

**Palabras clave:** *Camelus dromedarius*, carne de camello, estrés térmico, carga ganadera, Marruecos