

*Algerian Journal of
Nutrition and Food Sciences
(AJNFS)*

ISSN: 2773-4366

Journal homepage: fac.umc.edu.dz/inataa/revue/

Effet de l'âge à l'abattage et du temps post mortem sur les changements des protéines myofibrillaires et la qualité de la viande de dromadaire

Smili H., Becila S., della Malva A., Redjeb A., Albenzio M., Sevi A., Santillo A., Babelhadj B., Adamou A., Boudjellal A., Marino R.

Published online: December 16, 2022.

To cite this article: Smili H., Becila S., della Malva A., Redjeb A., Albenzio M., Sevi A., Santillo A., Babelhadj B., Adamou A., Boudjellal A., Marino R. 2022. Effet de l'âge à l'abattage et du temps post mortem sur les changements des protéines myofibrillaires et la qualité de la viande de dromadaire. *Algerian Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2(3), 1–8

To link to this article: <https://fac.umc.edu.dz/inataa/revue/files/ajnfs0203001.pdf>

Original Article

Effet de l'âge à l'abattage et du temps post mortem sur les changements des protéines myofibrillaires et la qualité de la viande de dromadaire

Smili Hanane^{1,2}, Becila Samira^{1,*}, della Malva Antonella³, Redjeb Ayad², Albenzio Marzia³, Sevi Agostino³, Santillo Antonella³, Babelhadj Baaissa², Adamou Abdelkader², Boudjellal Abdelghani¹ et Marino Rosaria³

¹ Equipe Maquay, Laboratoire Bioqual, Institut de la Nutrition de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA), Université Frères Mentouri Constantine 1, Route Ain El-Bey, Constantine 25000, Algérie

² Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla 30000, Algérie

³ Department of Agriculture, Food, Natural Resources and Engineering (DAFNE), Université de Foggia, Via Napoli 25, 71121 Foggia, Italie

Received July 10, 2022 Accepted September 15, 2022 Available online December 16, 2022

Abstract The effects of slaughter age (2 years vs 9 years) and post mortem time (6, 8, 10, 12, 24, 48 and 72h) on meat quality characteristics and protein changes in Longissimus lumborum muscles of the Algerian Sahraoui dromedary were investigated. Muscles of young dromedaries evidenced a slower acidification process, a higher water holding capacity at 6h post mortem and a significantly higher myofibrillar fragmentation index throughout the post mortem time. The SDS-PAGE of myofibrillar proteins revealed changes in protein profiles. Meat from young dromedaries was characterized by the highest percentage of desmin ($p < 0.01$) and a decrease for α -actinin ($p < 0.05$) and desmin ($p < 0.01$) during post mortem time. Western blot revealed an intense degradation of troponin T in younger dromedaries, with an earlier appearance of the 28 kDa polypeptide highlighting differences in the proteolytic potential between dromedaries of different ages. Data suggest that the investigation of the muscle proteome is necessary to set targeted interventions to improve the aging process of dromedary meat cuts.

Keywords Sahraoui dromedary, slaughter age, post mortem time, meat quality, myofibrillar proteins.

Résumé Les effets de l'âge d'abattage (2 ans vs 9 ans) et du temps post mortem (6, 8, 10, 12, 24, 48 et 72h) sur les caractéristiques de la qualité de la viande et les modifications protéiques des muscles Longissimus lumborum du dromadaire Sahraoui algérien ont été étudiés. Les résultats ont montré que les muscles des jeunes dromadaires présentaient un processus d'acidification plus lent, une capacité de rétention d'eau plus élevée à 6h post mortem et un indice de fragmentation myofibrillaire significativement plus élevé tout au long du temps post mortem. L'analyse des protéines myofibrillaires par SDS-PAGE a révélé des changements dans les profils protéiques. La viande des jeunes dromadaires se caractérise par un pourcentage plus élevé de desmine ($p < 0,01$) et une diminution de cette dernière ($p < 0,01$) ainsi que de l' α -actinine ($p < 0,05$) au cours du temps post mortem. Le Western blot a révélé une dégradation intense de la troponine T chez les dromadaires jeunes, avec l'apparition précoce du polypeptide de 28 kDa, mettant en évidence des différences de potentiel protéolytique entre des dromadaires d'âges différents. Les données suggèrent que l'étude du protéome musculaire est nécessaire pour définir des interventions ciblées pour améliorer le processus d'attendrissage de la viande de dromadaire.

Mots clés Dromadaire Sahraoui, âge d'abattage, temps post mortem, qualité de la viande, protéines myofibrillaires.

Introduction

L'espèce cameline présente en Algérie est le dromadaire (*Camelus dromedarius*), sa population globale a été estimée à 416 519 têtes en 2019, plaçant l'Algérie au 14^e rang mondial (FAOstat, 2021). Au cours des dix dernières années, la consommation de la viande de Dromadaire a présenté une augmentation remarquable, passant de 4 500 tonnes en 2009 à 6 514 tonnes en 2019

(FAOstat, 2021). Il existe en effet une nécessité pressante de couvrir les besoins en protéines animales de la population et de diversifier ses ressources (Bader *et al.*, 2021; Sanah *et al.*, 2021). La viande de dromadaire étant « atypique », sa consommation se caractérise par un aspect régional, en raison de la répartition naturelle de l'espèce et de considérations socio-culturelles. C'est une source intéressante de protéines qu'il convient d'exploiter au mieux du fait de ses rendements en carcasse élevés sous des systèmes d'élevage peu onéreux (Kadim *et al.*, 2013; Kadim *et al.*, 2008). Cependant, le dépassement du confinement régional de la viande cameline nécessite la maîtrise de sa qualité et de sa perception par les consommateurs non autochtones.

* Corresponding author:

Becila Samira

Email address: samira.becila@umc.edu.dz

INATAA, UFMCI

7^e Km Route de Sétif, RN 5, 25000 Constantine (Algeria)

A l'heure actuelle, les consommateurs perçoivent la viande de dromadaire comme un « produit de basse qualité » caractérisé par une faible tendreté, car il est généralement obtenu à partir d'animaux abattus à l'âge adulte (> 4 ans) et qui mature pendant très peu de temps (24 h). L'étude de [Kadim *et al.* \(2006\)](#) a révélé que des différences dans la viande de dromadaire, dues à l'âge des animaux, pourraient être liées à des changements histologiques qui ont lieu dans les structures musculaires à mesure que les animaux prennent de l'âge en particulier en termes de quantité de tissu conjonctif et son dépôt. Plusieurs études ([D'Alessandro et Zolla, 2013](#); [Marino *et al.*, 2015](#); [Kim *et al.*, 2018](#)) ont rapporté que la tendreté est un attribut complexe influencé par différents facteurs, liés d'une part à l'espèce, à l'âge, à la race, au type de muscle et du régime alimentaire, mais également aux facteurs *post mortem* (durée de stockage, vitesse de refroidissement et température). Cependant, il est bien établi que la dégradation et la modification des protéines musculaires pendant le stockage *post mortem* sont les facteurs prédominants influençant la tendreté de la viande ([Ouali *et al.*, 2013](#); [Lana et Zolla, 2016](#); [Zahedi *et al.* 2016](#)).

L'étude des changements protéiques permet de caractériser l'attendrissage de la viande lors de la conservation *post mortem* ainsi que le suivi de biomarqueurs caractérisant la tendreté ([Hollung *et al.*, 2007](#); [Marino *et al.*, 2013](#)).

Dans ce contexte, nous supposons que la connaissance de la dégradation *post mortem* des protéines structurales et cytosquelettiques de la viande de dromadaire est nécessaire pour mieux comprendre le processus *post mortem* ainsi que pour développer des stratégies de gestion des carcasses visant à produire une viande de qualité compétitive. De plus, une compréhension globale de la relation entre les modifications des protéines musculaires au cours des premières heures *post mortem* et l'âge d'abattage des dromadaires aidera à concevoir des interventions ciblées pour obtenir une meilleure tendreté de la viande.

Ainsi, l'objectif de l'investigation est l'étude de l'effet de l'âge d'abattage et du temps *post mortem* sur les principaux critères de qualité de la viande de dromadaire Sahraoui, avec un accent particulier sur les modifications des protéines myofibrillaires.

Matériel et méthodes

Echantillonnage

Des dromadaires mâles de la population Sahraoui, six jeunes (2 ans \pm 0,9 SD) et six adultes (9 ans \pm 1,5 SD), élevés dans un système de gestion extensif, ont été utilisés pour la collecte de la viande. Les animaux ont été exposés au même processus de manipulation avant l'abattage au niveau de l'abattoir commercial de la région de Ouargla. Ils ont été placés en stabulation pendant environ 12 h avant d'être abattus suivant la procédure algérienne. Après 3 h *post mortem*, les muscles *longissimus lumborum* (LL) ont été prélevés des deux

dernières vertèbres lombaires. Les muscles ont été maintenus à 12 °C jusqu'à 12 h *post mortem*. Ensuite, conservés à 4 °C pendant 72 h, selon [Al-Owaimer *et al.* \(2014\)](#). Des mesures ont été réalisées sur les muscles à 6, 8, 10, 12, 24, 48 et 72 h afin de suivre les changements aboutissant au développement de la qualité de la viande.

Caractéristiques de la qualité de la viande

Mesure du pH, capacité de rétention d'eau et indice de fragmentation myofibrillaire

Le pH musculaire a été déterminé selon [Bendall \(1973\)](#). En bref, 1 g de muscle broyé a été homogénéisé dans 10 mL de tampon contenant 5 mM de sodium iodoacétate et 150 mM de chlorure de potassium (pH 7). Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre équipé d'une électrode de verre combinée de type HI9812-5 Hanna Instruments (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, États-Unis).

La capacité de rétention d'eau (WHC) a été évaluée selon la méthode de [Hamm \(1986\)](#). Un échantillon de viande de 300 ± 5 mg a été placé sur un papier filtre, Whatmann No. 1 de 7cm de diamètre ; le papier avec de la viande était ensuite placé entre deux plaques de plexiglas. Des charges de 2,25 kg ont été appliquées pendant 5 min. Les cercles de viande et de jus libérés étaient alors soigneusement rapportés sur des feuilles de plastique transparentes et leurs surfaces ont été estimées à l'aide du logiciel ImageJ. La capacité de rétention d'eau a été exprimée par la différence entre la surface de jus libéré et la surface de la viande (cm²) rapportée au poids de l'échantillon (g).

L'indice de fragmentation myofibrillaire (MFI) a été déterminé selon le protocole de [Culler *et al.* \(1978\)](#). 2 g de muscle ont été homogénéisés pendant 30 s dans 20 mL de tampon MFI froid (100 mM KCl, 1 mM EGTA, 1 mM MgCl₂ et 1 Mm NaN₃, pH 7). L'homogénat a été centrifugé à 1000 \times g pendant 15 min, le culot a été remis en suspension dans 20 ml de tampon MFI, vortexé et centrifugé à nouveau. Le sédiment a été remis en suspension dans 10 ml de tampon, puis filtré. Le filtrat a été utilisé pour quantifier la concentration en protéines à l'aide de la méthode Biuret via un dosage spectrophotométrique. Par la suite, la concentration a été ajustée à 0,5 mg/mL et l'absorbance a été lue immédiatement à 540 nm. L'MFI était calculé en multipliant l'absorbance à 540 nm par 200.

Estimation de la protéolyse des protéines myofibrillaires

L'extraction des protéines myofibrillaires a été réalisée selon le protocole de [Marino *et al.* \(2013\)](#). Brièvement, 2,5 g de muscle ont été coupés en petits morceaux (sans graisse ou tissu conjonctif) et homogénéisé à l'aide d'un Ultra Turrax à 10 000 tr/min pendant 3 min avec 10 ml de tampon phosphate 0,03 M (pH 7) et un cocktail d'inhibiteurs de protéase (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, États-Unis). Ensuite, l'homogénat a été centrifugé à 8000 \times g pendant 20 min à 4 °C. Le culot myofibrillaire résultant a été mis en suspension dans 1 mL de tampon dénaturant (8,3 M d'urée, 2 M de thiourée, 64 mM de dithiothréitol, 2% de cholamidopropyl diméthyl

hydroxypropane sulfonate, 2% Nonidet P-40, 10% glycérol et 20 mM Tris-HCl, pH 8), agité pendant une nuit et centrifugé à $15\,000 \times g$ pendant 20 min à 10 °C. Après centrifugation, les surnageants (fraction myofibrillaire) ont été collectés et conservés à -80 °C. La concentration protéique de l'extrait myofibrillaire a été déterminée en utilisant un kit Quant 2-D (GE Healthcare), et le sérum l'albumine comme standard.

Les protéines myofibrillaires ont été séparées par électrophorèse en conditions dénaturantes (SDS-PAGE) réalisée selon la procédure de Marino *et al.* (2013). Un gel d'électrophorèse à gradient de 8 à 18% dans un système tampon continu a été exécuté à 24mA/gel en utilisant un système PROTEAN II xi (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA). Les gels ont été colorés au bleu de Coomassie G250 ; les images ont été acquises par le système Chemi Doc EQ (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA) à l'aide d'un écran de conversion de lumière blanche, par la suite ils ont été analysés avec le logiciel Image Lab (version 5.2.1, Bio-Rad Laboratories, Hercules, Californie, États-Unis). L'identification des protéines a été réalisée par comparaison avec les protéines standard Precision Plus—Broad Range (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA), ainsi qu'avec nos précédentes identifications réalisées dans les mêmes conditions sur des fractions myofibrillaires du muscle *Longissimus lumborum* de bovin (Marino *et al.*, 2013). La quantité relative de chaque bande a été déterminée comme le pourcentage de l'intensité du signal des bandes définies dans le puit.

Western blot

Le Western blot de la troponine-T (TNNT) a été réalisée comme décrit par Marino *et al.* (2015). Brièvement, les protéines myofibrillaires ont été séparées sur des gels d'acrylamide à 12% à l'aide de Mini-PROTEAN Tetra cellulaire (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA). Ensuite les protéines ont été transférées pendant 5 min à 25 V/2,5 A sur des membranes de nitrocellulose par une méthode de transfert semi-sec (Trans-Blot Turbo Transfer System, Bio-Rad Laboratories). Toutes les membranes ont été bloquées pendant 1 h dans une solution saline Tris tamponnée contenant 0,05% de Tween-20 (TBS-Tween), dont 5% de BSA comme agent bloquant. Les membranes ont été incubées avec les

anticorps primaires : monoclonal anti-troponine-T produit chez la souris (JLT-12 ; Sigma-Aldrich, St Louis, MO, États-Unis ; dilué à 1:40 000). Les membranes ont été lavées, puis incubées pendant 1 h à température ambiante avec les anticorps secondaires de chèvre anti-souris-HRP (No 2554; Sigma-Aldrich, St Louis, MO ; dilué 1:30 000). Les blots ont été détectés à l'aide du substrat Clarity Western ECL (BioRad Laboratories, Hercules, CA, USA). Les images ont été acquises par le système Chemi Doc EQ et analysées avec le logiciel Image Lab (version 5.2.1, Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA) pour déterminer l'intensité du signal des bandes de protéines intactes et fragmentées.

Analyses statistiques

Les comparaisons de tous les résultats de notre étude ont été réalisées par une analyse de la variance (ANOVA) en utilisant la procédure GLM du logiciel statistique SAS (SAS, 2013). Le modèle mathématique incluait l'effet fixe dû à l'âge d'abattage, l'heure *post mortem*, âge d'abattage \times heure *post mortem* et l'erreur résiduelle aléatoire. Les résultats sont présentés sous forme de moyennes des moindres carrés des données pour chaque groupe d'âge, et la variabilité des données est exprimée par l'erreur standard de la moyenne (SEM). Tous les effets ont été testés pour leur signification statistique ($p < 0,05$). Lorsque des effets significatifs ont été trouvés ($p < 0,05$), le test LSD de Fisher a été utilisé pour localiser des différences entre les moyens.

Résultats et discussion

Caractéristiques de la qualité de la viande

Les effets de l'âge d'abattage et du temps *post mortem* sur le pH, WHC et MFI des muscles *Longissimus lumborum* de dromadaires Sahraouis algériens sont rapportés dans tableau 1. L'âge à l'abattage a un effet significatif ($p < 0,001$) sur la chute du pH musculaire. En particulier, par rapport aux dromadaires adultes, les muscles des jeunes animaux présentaient des valeurs de pH plus élevées à 8 et 72 h *post mortem*. Kadim *et al.* (2006), ont rapporté un pH ultime significativement plus élevé chez les jeunes dromadaires (5,91) comparé aux adultes (5,71), ce résultat serait lié aux types de fibres

Tableau 1. pH, indice de fragmentation myofibrillaire (MFI) et capacité de rétention d'eau (WHC) du muscle *Longissimus Lumborum* (LL) des dromadaires à 6, 8, 10, 12, 24, 48 et 72 heures (h) *post mortem* (moyenne \pm SEM) selon l'âge à l'abattage

		Temps <i>post mortem</i> (h)							Effets, P			
		6	8	10	12	24	48	72	SEM	Age	Temps	Agex Temps
pH	Jeune	6,43a	6,34Aa	6,22b	6,21ab	5,99bc	5,98bc	5,94Ac	0,07	***	***	*
	Adulte	6,32a	5,99Bb	6,00b	5,98b	5,87bc	5,89bc	5,67Bc				
MFI	Jeune	77,89Ab	78,91Ab	92,72Aab	99,75Aa	101,45Aa	98,12Aa	97,48Aa	5,61	***	*	NS
	Adulte	55,85Bb	56,40Bb	57,17Bb	60,09Bb	70,28Bab	77,43Ba	78,41Ba				
WHC (cm²/g)	Jeune	12,21Ac	15,61bc	19,42b	17,02bc	26,92a	24,01a	25,42a	1,25	**	***	*
	Adulte	7,98Bc	14,85b	16,64b	15,90b	25,84a	24,88a	25,50a				

NS : non significatif ; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$; a,b,c : $p < 0,05$ en lignes (effet du temps *post mortem*), A,B,C : $p < 0,05$ en colonnes (effet de l'âge).

musculaires et leurs contenances en glycogène. En effet, la proportion de fibres musculaires rouges, à forte teneur en glycogène, augmente avec l'âge de l'animal et influence le métabolisme musculaire et le pH. De plus, chez les bovins et les caprins, il a été rapporté que les animaux plus jeunes produisent de la viande avec un pH plus élevé que les animaux plus âgés en raison des niveaux inférieurs de glycogène (Kannan *et al.*, 2003; Clinquart *et al.*, 2022).

Au cours de la période *post mortem*, une diminution progressive du pH ($p < 0,001$) a été observée, avec des taux différents chez les adultes et les jeunes dromadaires. En particulier, les muscles LL des dromadaires adultes ont montré une baisse de pH plus rapide à partir de 8 h *post mortem*, tandis que chez les jeunes dromadaires une diminution significative a été observée après 12 h *post mortem*. La baisse plus rapide du pH des muscles LL des dromadaires adultes pourrait être attribuée aux réserves de glycogène musculaire au moment de l'abattage qui accélèrent la glycolyse et la vitesse initiale de chute du pH. L'indice de fragmentation myofibrillaire (MFI) était significativement affecté par l'âge à l'abattage ($p < 0,001$) et le temps *post mortem* ($p < 0,05$). Il est à noter que l'MFI est l'indice le plus important pour mesurer l'amélioration de la tendreté de la viande et la protéolyse, indiquant à la fois les ruptures de la bande I et la perte de l'intégrité des myofibrilles. Dans notre étude, la viande de jeunes dromadaires a montré des valeurs MFI plus élevées que celle des adultes. Il est bien connu que l'attendrissement de la viande et la fragmentation des myofibrilles sont principalement liés au pH musculaire ; dans l'ensemble, les muscles avec un pH élevé peuvent s'attendrir plus rapidement que les muscles avec des valeurs de pH plus basses (Hamoen *et al.*, 2013). La plus grande fragmentation des myofibrilles trouvée dans la viande des jeunes dromadaires pourrait être liée aux valeurs de pH plus élevées trouvées dans les premières heures *post mortem*, ce qui a conduit probablement à l'augmentation de l'activité des enzymes endogènes sur les myofibrilles (Kim *et al.*, 2014).

Comme attendu, le temps *post mortem* a significativement affecté la fragmentation des myofibrilles ($p < 0,05$), bien que ce paramètre ait augmenté à des rythmes différents chez les adultes et les jeunes dromadaires. Les jeunes dromadaires ont montré une augmentation du MFI après 12 h *post mortem* et est resté constant par la suite ; dans la viande de dromadaires adultes, une augmentation du MFI a été trouvée seulement après 48 h *post mortem*. La fragmentation plus rapide des myofibrilles trouvée dans la viande de jeunes dromadaires à partir de 12 h *post mortem* témoigne de la rapidité de résolution de la *rigor mortis* et l'activation précoce des enzymes endogènes dans la dégradation des myofibrilles, mettant ainsi en évidence des différences de potentiel protéolytique entre les dromadaires jeunes et adultes.

La capacité de rétention d'eau (WHC) est une mesure essentielle pour estimer et évaluer la jutosité, ainsi que, pour déterminer l'apparence et la palatabilité du produit

final (Huff-Lonergan et Lonergan, 2005). L'âge à l'abattage a affecté les valeurs de WHC ($p < 0,01$) ; notamment la viande des dromadaires adultes a montré les valeurs les plus basses du WHC après 6 h de stockage *post mortem*. Il est bien connu qu'une baisse plus rapide du pH pendant la phase de *rigor* affecte la capacité de rétention d'eau s'exprimant par une perte à l'égouttage inférieure (Mancini et Hunt, 2005). Dans notre étude, les valeurs WHC les plus basses du muscle LL des dromadaires adultes en phase de *rigor* pourraient être dues à la chute rapide du pH et la dénaturation des protéines musculaires, comme précédemment suggéré par Kadim *et al.* (2006).

Le temps *post mortem* a significativement affecté la WHC ($p < 0,001$) de la viande de dromadaire. En particulier, la capacité de la viande à retenir l'eau a diminué au cours de la première période de stockage *post mortem*. Une augmentation progressive du WHC, jusqu'à 24 h *post mortem*, a été constatée pour les adultes et les jeunes dromadaires (la perte de jus était d'environ 120,47% et 223,81% pour la viande de dromadaires jeunes et adultes, respectivement). Cependant, de 24 h à 72 h de stockage *post mortem*, la WHC est restée constante, suggérant que ce phénomène pourrait être principalement lié à l'acidification musculaire. En effet, la chute du pH et la *rigor* induisent un rétrécissement de la myofibrille ; ainsi, l'espace disponible pour l'eau dans la myofibrille est réduit, entraînant une augmentation de la perte d'eau.

Estimation de la protéolyse myofibrillaire

Le profil électrophorétique des protéines myofibrillaires du muscle *Longissimus lumborum* des dromadaires Sahraouis jeunes et adultes en fonction du temps *post mortem* est présenté dans la figure 1 et l'analyse densitométrique des principales protéines dans la figure 2.

Le profil des protéines myofibrillaires a été affecté par l'âge d'abattage et le temps *post mortem*, en particulier en termes d'intensité des bandes protéiques. En effet, bien que pendant le temps *post mortem*, le profil électrophorétique de la fraction myofibrillaire des dromadaires, jeunes et adultes, était caractérisé par le même nombre de bandes protéiques (23 et 26 à 6 h et 72 h *post mortem*), Après 72 h, les jeunes dromadaires ont montré une intensité majeure des polypeptides, dans la zone de 30 kDa. L'âge d'abattage a également affecté le pourcentage de desmine (DES, $p < 0,01$), la chaîne légère de myosine 1 (MYL1, $p < 0,01$) et la chaîne légère de myosine lente 2 (sMYL2, $p < 0,01$).

La viande des dromadaires adultes a montré le plus faible pourcentage de desmine, jusqu'à 24 h *post mortem*. De plus, le pourcentage de MYL1 était plus élevé à 6, 8 et 10 heures *post mortem* comparé à la viande des jeunes dromadaires. Concernant sMYL2, dans les premières heures *post mortem*, la viande de dromadaires adultes présentait le pourcentage le plus élevé de cette isoforme, tandis qu'après 10 et 12 heures *post mortem*, elle présentait la teneur la plus faible, en comparaison avec la viande des dromadaires jeunes.

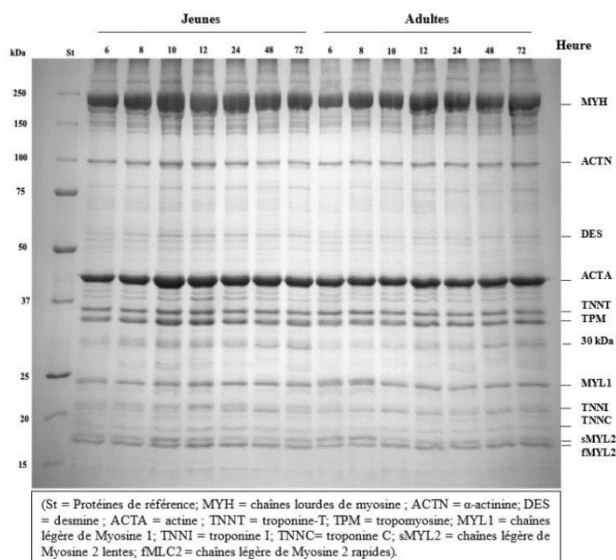


Figure 1. SDS-PAGE (8-18%) représentatif des protéines myofibrillaires du muscle *Longissimus lumborum* des dromadaires jeunes et adultes après 6, 8, 10, 12, 24, 48 et 72 h *post mortem*

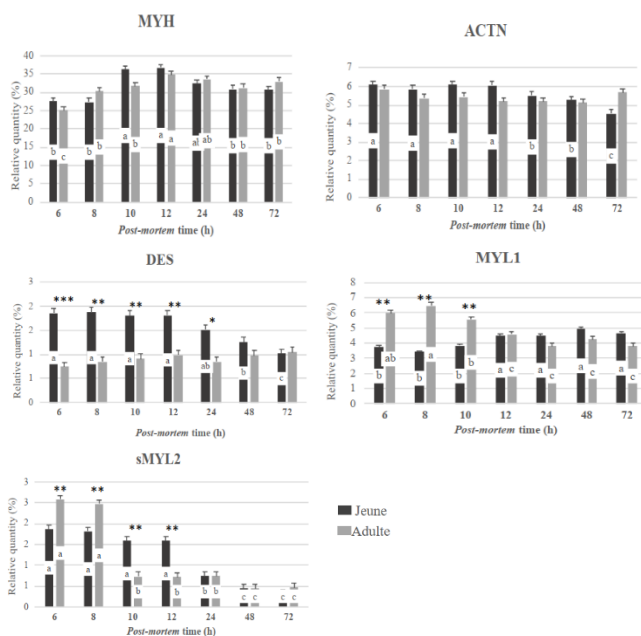


Figure 2. Pourcentage (%) des principales protéines myofibrillaires du muscle *Longissimus lumborum* des dromadaires jeunes et adultes à 6, 8, 10, 12, 24, 48, et 72h *post mortem*

MYH : chaînes lourdes de myosine ; ACTN : α -actinine ; DES : desmine ; MYL1 : chaînes légères de Myosine 1 ; sMYL2 : chaînes légères de Myosine 2 lentes ; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$ effet de l'âge ; a-c : $p < 0,05$ effet du temps *post mortem* ; moyenne \pm SEM

Un effet significatif du temps *post mortem* a été observé pour la chaîne lourde de la myosine (MHY ; $p < 0,01$), l'alpha-actinine (ACTN ; $p < 0,05$), la desmine (DES ; $p < 0,01$), la troponine T (TNNT ; $p < 0,01$), le fragment de 30 kDa ($p < 0,01$), la chaîne légère de myosine 1 (MYL1 ; $p < 0,01$), la chaîne légère de myosine lente 2 (sMYL2 ; $p < 0,001$) et la chaîne légère de myosine rapide 2 (fMYL2 ; $p < 0,05$).

La myosine est la protéine myofibrillaire la plus abondante qui contribue à la structure et à la résistance à la traction de la viande. Les valeurs les plus faibles de cette protéine ont été détectées dans la première phase *post mortem* (6 et 8 h) et dans la phase *post-rigor* (48 et

72 h). Il a été rapporté que, le moindre changement dans l'étendue de la formation du complexe d'actomyosine ou dans la force de la liaison à la *rigor*, pourrait affecter l'accès de la protéase au substrat (Huff Lonergan *et al.*, 2010; D'Alessandro *et al.*, 2012). Nous retenons que les changements trouvés dans le profil électrophorétique des chaînes lourdes de myosine dans la viande de dromadaire reflètent les processus *post mortem* et confirment que l'extractibilité des protéines dépend de la déstructuration du sarcomère, par des enzymes endogènes, tel que précédemment rapporté, pour la viande bovine (Marino *et al.*, 2013).

Les changements d'abondance de l' α -actinine au cours de la période *post mortem* ont été observés uniquement, dans la viande de jeunes dromadaires présentant les valeurs les plus faibles dans la phase *post rigor* à partir de 24 heures *post mortem*. Cette observation atteste le rôle de l' α -actinine dans le maintien de l'intégrité des cellules, s'agissant d'un constituant majeur du disque Z. Il a été également rapporté que les lignes Z sont le premier lieu des altérations structurelles *post mortem* (Guo et Greaser, 2017). Par conséquent, toute dégradation de l' α -actinine peut entraîner une désorganisation myofibrillaire.

Une diminution de la desmine a été retrouvée en phase *post-rigor*, à 48 et 72 heures *post mortem*, et ce, dans la viande de jeunes dromadaires. La desmine est un filament intermédiaire et joue un rôle dans le maintien de l'intégrité des cellules musculaires, en reliant les myofibrilles adjacentes au niveau de leurs lignes Z, et les myofibrilles à d'autres structures cellulaires (Pearce *et al.*, 2011). Plusieurs études sur la viande bovine ont signalé, que la dégradation de la desmine est un indicateur de dégradation myofibrillaire (Anderson *et al.*, 2012; Lana et Zolla, 2016). Dans notre étude, la plus grande dégradation de la desmine ainsi que, l'augmentation importante du MFI observée dans la viande de jeunes dromadaires confirment l'affaiblissement de la structure myofibrillaire, et met en évidence un potentiel protéolytique majeur de la viande de jeunes animaux.

Au cours du temps *post mortem*, les chaînes légères de myosine 1 (MYL1) ont montré une tendance différente dans la viande de dromadaires jeunes et adultes, plus précisément, une diminution du pourcentage de MYL1 a été observée chez les adultes, à l'inverse, une augmentation a été constatée après 10 h *post mortem* chez les jeunes. Les différences de quantité de MYL1 entre les adultes et les jeunes dromadaires pourraient être le reflet de l'intégrité des ponts transversaux d'actomyosine. Anderson *et al.* (2012) ont rapporté que la libération rapide de MYL1 de la myofibrille est due à l'action de la calpaïne-1, et qu'elle est un indicateur potentiel de protéolyse et d'amélioration de la tendreté. Dans notre étude, la valeur la plus faible de MYL1 trouvée dans la viande de jeunes dromadaires, au cours de la première phase *post mortem* s'expliquerait par la libération de cette protéine myofibrillaire dans la fraction soluble. Ceci conforte que MYL1 pourrait être

un indicateur de la déstructuration des myofibrilles dans la viande cameline, tel que rapporté précédemment pour la viande bovine (Marino et al., 2014).

Western blot de la troponine T

Il a été largement rapporté que la troponine T est l'une des principales protéines utilisées comme marqueur pour l'étude de la protéolyse en cours et pour la prédiction de la tendreté de la viande (Huff Lonergan et al., 2010; Lana et Zolla, 2016). Par conséquent, le Western blot de la troponine T a été réalisé, en vue de définir les changements détectés entre la viande de dromadaires adultes et jeunes, au cours du temps *post mortem* et de confirmer les résultats SDS-PAGE.

Le Western blot représentatif de la troponine T du muscle *Longissimus lumborum* du dromadaire tel que, affecté par l'âge d'abattage et le temps *post mortem* est rapporté dans la figure 3, tandis que les résultats de l'analyse d'image sont présentés dans le tableau 2.

Le Western blot de la troponine T (TNNT) a révélé la présence de 5 bandes immunoréactives : les bandes de 38, 36 et 34 kDa représentent des isoformes de TNNT intactes, tandis que les bandes de 30 et 28 kDa sont des produits dégradés de la TNNT. En se référant aux

isoformes intactes de TNNT, les résultats de l'analyse d'image ont révélé que l'âge d'abattage et le temps *post mortem* affectent de manière significative l'intensité relative des bandes de protéines de 38, 36 et 34 kDa. En particulier, les isoformes intactes de 38 kDa et 34 kDa ont montré des valeurs plus élevées, dans la viande des jeunes dromadaires à 6 et 8 h *post mortem* ($p < 0,05$), tandis que la viande des dromadaires adultes a révélé l'intensité la plus élevée uniquement de la bande de 36 kDa ($p < 0,01$), jusqu'à 48 h *post mortem*.

Comme attendu, le temps *post mortem* a affecté de manière significative la dégradation des isoformes intactes de TNNT (38 kDa, 36 kDa et 34 kDa, respectivement) mais, à des taux différents. En ce qui concerne la protéine de 38 kDa, chez les dromadaires adultes, une diminution ($p < 0,01$) a été constatée à partir de 10 h *post mortem*, contrairement aux jeunes dromadaires, où une dégradation progressive a été observée à partir de 8 h *post mortem*. Un effet du temps *post mortem* a été trouvé pour la bande 36 kDa, chez les dromadaires adultes, avec une diminution significative ($p < 0,05$), après 10 h *post mortem*. Cependant, en se référant à la bande 34 kDa, une diminution progressive a été constatée chez les jeunes dromadaires montrant les valeurs les plus basses, à partir de 24 h *post mortem*. Ces résultats mettent en évidence que la dégradation de la troponine-T intacte, au cours de la période *post mortem*, était plus importante dans la viande des dromadaires jeunes (52,86%) comparée aux adultes (46,87%). Cette dégradation majeure des isoformes intactes de TNNT chez les jeunes dromadaires pourrait être expliquée par les caractéristiques des fibres et une plus grande activité des enzymes endogènes, dans la dégradation des myofibrilles, confirmée également par les résultats de l'MFI. Conformément à nos données, Cruzen et al. (2014) ont observé moins de dégradation de la troponine-T dans les muscles des bovins matures comparés aux jeunes. Ils ont suggéré un potentiel de protéolyse réduit chez les bovins matures comparé aux veaux, en raison d'un rapport inférieur de l'activité μ -calpaïne/calpastatine.

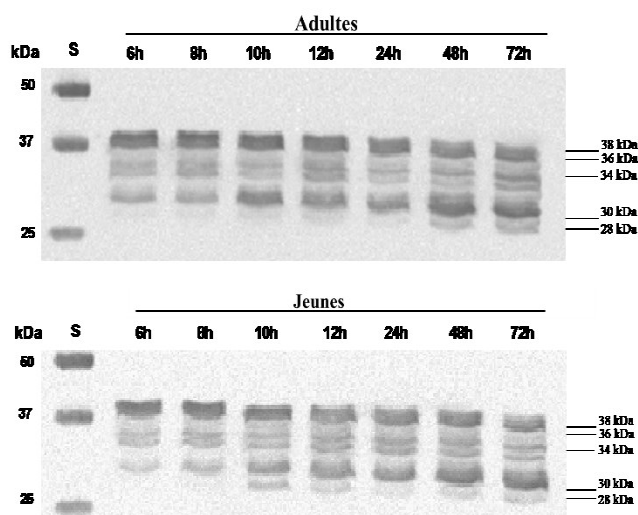


Figure 3. Western blot représentatif de la troponine-T du muscle *Longissimus lumborum* des dromadaires jeunes et adultes après 6, 8, 10, 12, 24, 48 et 72 heures *post mortem*

Tableau 2. Résultats de l'analyse densitométriques du Western blot de la troponine T (%) du muscle *Longissimus lumborum* des dromadaires jeunes et adultes en fonction du temps *post mortem*

		Temps <i>post mortem</i> (h)							SEM	Effet, P		
		6	8	10	12	24	48	72		Age	Temps	A×T
Isoformes intactes												
38 kDa	Adulte	71,58 Ba	68,41 Ba	59,22 b	56,33 b	53,53 b	40,21 c	36,81 c	1,92	*	**	*
	Jeune	84,12 Aa	77,41 Ab	58,20 c	58,55 c	50,33 d	40,77 e	37,36 e				
36 kDa	Adulte	10,80 Aa	10,73 Aa	6,35 Ab	6,20 Ab	6,99 Ab	6,67 Ab	5,25 b	0,61	**	*	*
	Jeune	4,67 B	4,10 B	4,51 B	4,04 B	4,33 B	4,30 B	4,10				
34 kDa	Adulte	2,20 B	2,15 B	2,31	2,34	2,86	2,87	2,88	0,43	*	*	*
	Jeune	3,72 Aa	3,95 Aa	2,72 ab	2,99 ab	2,51 b	2,40 b	2,15 b				
Produits de dégradation												
30 kDa	Adulte	15,42 Ad	18,71 Ad	32,12 c	35,13 Abc	36,62 Bb	48,91 a	52,70 a	1,38	*	***	*
	Jeune	7,49 Bf	14,54 Be	29,64 d	30,76 Bd	41,04 Ac	50,86 b	54,35 a				
28 kDa	Adulte	ND	ND	ND	ND	ND	1,34 b	2,36 a	0,25	*	**	*
	Jeune	ND	ND	4,94 a	3,65 b	1,78 c	1,78 c	2,04 c				

A×T : Age × Temps ; ND : non détecté ; NS : non significatif ; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$; A,B : $p < 0,05$ en colonne (effet de l'âge) ; a,b,c : $p < 0,05$ en ligne (effet temps *post mortem*).

Il a été rapporté que les fragments de 30 et 28 kDa sont les deux principaux polypeptides générés par la dégradation de la troponine-T (Huff Lonergan *et al.*, 2010). Concernant ces isoformes dégradées, la bande de 30 kDa était affectée par l'âge d'abattage ($p < 0,05$) et le temps *post mortem* ($p < 0,001$). Elle a montré des pourcentages élevés à 6, 8 et 12 h *post mortem* chez les adultes, tandis qu'après 24 h, des valeurs plus élevées ont été enregistrées chez les jeunes.

Au cours du temps *post mortem*, une augmentation progressive des bandes de 30 et 28 kDa a été observée chez les dromadaires jeunes et adultes à des taux différents. La viande des adultes a montré une augmentation de fragment de 30 kDa, à partir de 10 h *post mortem*, et une augmentation progressive chez les jeunes dromadaires. Se référant au polypeptide de 28 kDa, chez les dromadaires adultes, ce polypeptide est apparu après 48 h *post mortem*, alors que chez les jeunes dromadaires il est apparu plus tôt, après 10 h *post mortem*.

La plus grande quantité de fragments de TNNT trouvée dans la viande de jeunes animaux au cours de la période *post mortem* confirme la dégradation plus rapide et plus étendue de la TNNT intacte, mettant en évidence une dégradation plus intense des myofibrilles et de la protéolyse chez les animaux jeunes. L'ensemble de nos résultats sur la protéolyse dans la viande de dromadaire, au cours du temps *post mortem*, notamment le MFI et de la troponine-T, ont révélé des différences dans le potentiel protéolytique de la viande en raison de l'âge à l'abattage des dromadaires.

Conclusion

Notre étude a mis en évidence que l'âge d'abattage et le temps *post mortem* affectent les propriétés des muscles *Longissimus lumborum* des dromadaires Sahraouis et fournissent des informations sur les changements protéiques lors de la conversion du muscle en viande. Le temps *post mortem* a entraîné des taux différents d'attendrissage de la viande chez les dromadaires adultes et jeunes ainsi qu'une réduction de la capacité de rétention d'eau des protéines myofibrillaires. Les jeunes dromadaires ont montré un processus d'acidification plus lent et une plus grande fragmentation des myofibrilles tout au long du temps *post mortem* en raison de l'activité enzymatique endogène. En particulier, une protéolyse *post mortem* précoce et intense concerne la viande de jeunes dromadaires, comme en témoigne la dégradation de protéines clés du processus d'attendrissage, tel que la desmine et l' α -actinine. Ces conclusions ont également été étayées par les plus intense et plus rapide dégradation de la troponine T observée chez les jeunes animaux, ce qui a confirmé une cinétique différente dans la désorganisation et la dégradation des myofibrilles au cours du temps, mettant en évidence un potentiel protéolytique différent entre des dromadaires d'âges différents.

Remerciements

Cette étude a été financée par le Ministère algérien de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, à travers le programme national exceptionnel 2018–2019, et la faculté de médecine de l'Université Kasdi Merbah Ouargla. Il a également été soutenu par le laboratoire de production animale de l'université de Foggia, Italie.

References

- Al-Owaimer, A., Suliman, G., Sami, A., Picard, B., Hocquette, J. 2014. Chemical composition and structural characteristics of Arabian camel (*Camelus dromedarius*) m. longissimus thoracis. *Meat Sci.* 96, 1233–1241.
- Anderson, M.J., Lonergan, S.M., Huff-Lonergan, E. 2012. Myosin light chain 1 release from myofibrillar fraction during post mortem aging is a potential indicator of proteolysis and tenderness of beef. *Meat Sci.* 90, 345–351.
- Bader, R., Becila, S., Talon, R., Leroy, S. 2021. Produits carnés traditionnels : caractérisation physicochimique et microbiologiques d'El-Guedid Algérien à partir de viande : ovine, bovine, caprine et cameline. *AJNFS.* 1(2), 13-18.
- Bendall, J.R. 1973. Post mortem Changes in Muscle. In Bourne, G.H., (ed.): *The Structure and Function of Muscle*, Academic Press, Orlando, FL, USA, Volume II, Part 2, p. 243.
- Clinquart, A., Ellies-Oury, M.P., Hocquette, J.F., Guillier, L., Santé-Lhoutellier, V., Prache, S. 2022. Review: On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. *Animal* 16, 100426.
- Cruzen, S.M., Paulino, P.V.R., Lonergan, S.M., Huff-Lonergan, E. 2014. Post mortem proteolysis in three muscles from growing and mature beef cattle. *Meat Sci.* 96, 854–861.
- Culler, R.D., Parrish, J., Smith, G.C., Cross, H.R. 1978. Relationship of myofibrillar fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine Longissimus muscle. *J. Food Sci.* 43, 1177–1180.
- D'Alessandro, A., Rinalducci, S., Marrocco, C., Zolla, V., Napolitano, F., Zolla, L. 2012. Love me tender: An Omics window on the bovine meat tenderness network. *J. Proteom.* 75, 4360–4380.
- D'Alessandro, A., Zolla, L. 2013. Meat science: From proteomics to integrated omics towards system biology. *J. Proteom.*, 78, 558–577.
- FAOSTAT. 2021. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> (accessed on 18 June 2021).
- Guo, W., Greaser, M.L. 2017. Muscle Structure, Proteins, and Meat Quality. In Purslow, P.P. (ed.): *New Aspects of Meat Quality*. Woodhead Publishing, Sawston, UK, pp. 13–31.
- Hamm, R. 1986. Functional Properties of the Myofibrillar System and Their Measurement. In *Muscle as Food*; Bechtel, P.J., Ed.; Food Science and Technology: Orlando, FL, USA, pp. 135–199.
- Hamoen, J.R., Vollebregt, H.M., Van der Sman, R.G.M. 2013. Prediction of the time evolution of pH in meat. *Food Chem.* 141, 2363–2372.
- Hollung, K., Veiseth, E., Jia, X., Færgestad, E.M., Hildrum, K.I. 2007. Application of proteomics to understand the molecular mechanisms behind meat quality. *Meat Sci.* 77, 97–104.

- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S.M. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of post mortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71, 194–204.
- Huff-Lonergan, E., Zhang, W., Lonergan, S.M. 2010. Biochemistry of post mortem muscle—Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci.* 86, 184–195.
- Kadim, I.T., Mahgoub, O., Al-Marzooqi, W., Al-Zadjali, S., Annamalai, K., Mansour, M.H. 2006. Effects of age on composition and quality of muscle Longissimus thoracis of the Omani Arabian camel (*Camelus dromedaries*). *Meat Sci.* 73, 619–625.
- 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 dromedaries*). *Meat Sci.* 80, 555–569.
- Kadim, I.T., Al-Karousi, A., Mahgoub, O., Al-Marzooqi, W., Khalaf, S.K., Al-Maqbali, R.S., Al-Sinani, S.S.H., Raiymbek, G. 2013. Chemical composition, quality and histochemical characteristics of individual dromedary camel (*Camelus dromedarius*) muscles. *Meat Sci.* 93, 564–571.
- Kannan, G., Kouakou, B., Terrill, T.H., Gelaye, S. 2003. Endocrine, blood metabolite and meat quality changes in goats as influenced by short-term, preslaughter stress. *J. Anim. Sci.* 81, 1499–1507.
- Kim, Y.H.B., Warner, R.D., Rosenfold, K. 2014. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: A review. *Animal Prod. Sci.* 54, 375–395.
- Kim, Y.H.B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M.M., Lonergan, S.M., Huff-Lonergan, E., Hunt, M.C. 2018. Understanding post mortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Sci.* 144, 74–90.
- Lana, A., Zolla, L. 2016. Proteolysis in meat tenderization from the point of view of each single protein: A proteomic perspective. *J. Proteom.* 147, 85–97.
- Mancini, R.A., Hunt, M.C. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71, 100–121.
- Marino, R., Albenzio, M., della Malva, A., Santillo, A., Loizzo, P., Sevi, A. 2013. Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time. *Meat Sci.* 95, 281–287.
- Marino, R., Albenzio, M., della Malva, A., Caroprese, M., Santillo, A., Sevi, A. 2014. Changes in meat quality traits and sarcoplasmic proteins during aging in three different cattle breeds. *Meat Sci.* 98, 178–186.
- Marino, R., della Malva, A., Albenzio, M. 2015. Proteolytic changes of myofibrillar proteins in podolian meat during aging: Focusing on tenderness. *J. Anim. Sci.* 93, 1376–1387.
- Ouali, A., Gagaoua, M., Boudida, Y., Becila, S., Boudjellal, A., Herrera-Mendez, C.H., Sentandreu, M.A. 2013. Biomarkers of meat tenderness: Present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. *Meat Sci.* 95, 854–870.
- Pearce J.R., Richardson, E.A., Mitchell, R.J., Shortt, N.K. 2011. Environmental Justice and Health: A Study of Multiple Deprivation and Geographical Inequalities in New Zealand. *Social Science and Medicine*, 73, 410–420.
- Sanah, I., Becila, S., Djeghim, F., Boudjellal, A. 2021. La viande cunicole dans l'Est algérien : motivations et freins à la consommation, *AJNFS*. 1(1), 28–34.
- SAS Institute. 2013. SAS Enterprise Guide: Statistics; Version 9.4; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA.
- Zahedi, Y., Varidi, M.J., Varidi, M. 2016. Proteome changes in biceps femoris muscle of iranian one-humped camel and their effect on meat quality traits. *Food Tech. Biotech.*, 54, 324–334.