

Le lentisque (*Pistacia lentiscus*) comme ressource anti-méthanogène pour l'alimentation ovine en Tunisie

A. CHOUCHEN¹, Y. BEN ROMDHANE¹, M. AMRAOUT¹, H. SELMI², B. JEMMALI¹, H. ABDELHAFIDH³

(Reçu le 22/06/2026; Accepté le 06/09/2026)

Résumé

La Tunisie s'est engagée à réduire de 27 % ses émissions agricoles de gaz à effet de serre d'ici 2030. L'élevage ovin, confronté à la dégradation des parcours et à la hausse du coût des intrants importés, a besoin de solutions nutritionnelles locales capables de limiter les émissions de méthane tout en restant économiquement accessibles. Cette étude évalue le potentiel du lentisque (*Pistacia lentiscus*), arbuste spontané des garrigues tunisiennes, comparé à une ration de référence (alimentation de base, AB). Nous avons caractérisé la composition chimique et phytochimique du lentisque, calculé sa valeur nutritive selon le système INRA 2018, puis mesuré sa fermentation *in vitro* (méthode de Menke et Steingass, 1988) avec modélisation cinétique d'Ørskov et McDonald (1979). Le lentisque se distingue par une concentration en tannins condensés particulièrement élevée (107,3 mg EC/g MS) et une teneur en polyphénols totaux de 30,3 mg EAG/g MS. Il réduit la production de méthane *in vitro* de 57,7 % par rapport à la référence, tout en affichant la valeur énergétique UFL la plus élevée (1,49). Un scénario de ration intégrant le lentisque permet de réduire le méthane de 37 % et le coût alimentaire de 50 % par rapport à une ration conventionnelle. Ces résultats positionnent le lentisque comme une ressource anti-méthanogène prometteuse pour l'élevage ovin tunisien, à confirmer par des essais *in vivo*.

Mots clés: *Pistacia lentiscus*, méthane entérique, tannins condensés, fermentation *in vitro*, ovin, Tunisie

Lentisk (*Pistacia lentiscus*) as an anti-methane resource for sheep feed in Tunisia

Abstract

Tunisia has committed to reducing its agricultural greenhouse gas emissions by 27% by 2030. The country's sheep farming sector, facing rangeland degradation and rising costs of imported inputs, needs local nutritional solutions able to limit methane emissions while remaining economically accessible. This study evaluates the potential of mastic tree (*Pistacia lentiscus*), a spontaneous shrub from Tunisian garrigues, compared to a control ration (basal diet, BD). We characterized its chemical and phytochemical composition, calculated its nutritive value according to the INRA 2018 system, and measured its *in vitro* fermentation (Menke and Steingass, 1988 method) with Ørskov and McDonald (1979) kinetic modelling. Mastic tree stood out for its particularly high condensed tannin content (107.3 mg CE/g DM) and total polyphenol content of 30.3 mg GAE/g DM. It reduced *in vitro* methane production by 57.7% compared to the control, while showing the highest UFL energy value measured in this study (1.49). On a practical level, a ration scenario incorporating mastic tree reduces methane by 37% and feed cost by 50% compared to a conventional ration, without recourse to irrigation. These results position mastic tree as a promising anti-methanogenic resource for Tunisian sheep farming, to be confirmed by *in vivo* trials.

Keywords: *Pistacia lentiscus*, enteric methane, condensed tannins, *in vitro* fermentation, sheep, Tunisia

INTRODUCTION

Plus de 350 000 ménages ruraux tunisiens vivent directement de l'élevage ovin, qui représente environ 15 % de la valeur ajoutée agricole du pays (MARHP, 2023). Ce système, extensif ou semi-extensif selon les régions, dépend largement des parcours naturels, dont la capacité de charge a chuté d'environ 40 % en trente ans sous l'effet du sur-pâturage et de sécheresses répétées. Dans le même temps, le prix des concentrés importés a augmenté de 35 à 60 % entre 2020 et 2024 (FAO, 2024; OEP, 2023), ce qui rend la recherche de ressources locales d'autant plus urgente.

Le méthane entérique (CH₄), produit par la fermentation ruminale, représente 2 à 12 % de l'énergie brute ingérée par les ovins et constitue l'un des principaux postes d'émission de gaz à effet de serre du secteur agricole. Les métabolites secondaires végétaux tannins condensés, polyphénols, saponines – sont étudiés pour leur capacité à réduire cette production de méthane, en agissant directement sur les archées méthanogènes ou indirectement sur la flore ruminale (Jayanegara *et al.*, 2015; Beauchemin *et al.*, 2022).

Pistacia lentiscus est un arbuste sclérophylle dominant des garrigues méditerranéennes, parfaitement adapté à la sécheresse estivale et disponible toute l'année sur les parcours, sans aucun coût de culture. Sa richesse en gallotannins et acides galloylquiniques en fait un candidat intéressant pour

moduler la fermentation ruminale (Drioiche *et al.*, 2023; Bensalem *et al.*, 2021).

L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel anti-méthanogène et la valeur nutritive du lentisque, comparé à une ration de référence représentative des pratiques régionales, à travers une caractérisation phytochimique rigoureuse, des essais de fermentation *in vitro* et une première estimation de l'intérêt économique d'une ration intégrant cette ressource.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériels utilisés

Le lentisque (*Pistacia lentiscus* L., Anacardiaceae) a été prélevé entre mars et mai sur des garrigues calcaréo-argileuses tunisiennes, à un stade végétatif pleinement développé (feuilles et jeunes rameaux), et comparé à une ration de référence représentative des pratiques régionales: foin d'avoine (45,4 % MS), aliment concentré (45,5 % MS) et maïs grain broyé (9,09 % MS). L'inoculum utilisé pour les essais de fermentation a été prélevé sur des brebis adultes à jeun, de race Queue Fine de l'Ouest, hébergées à la ferme pilote de l'École Supérieure d'Agriculture de Mateur (ESAM). Les deux substrats ont été séchés à l'étuve ventilée (50 °C, 48 h), broyés à 1 mm et conditionnés en flacons hermétiques. Chaque substrat a été analysé en triplicata (n = 3).

¹ École Supérieure d'Agriculture de Mateur, University of Carthage, Mateur-Bizerte, Tunisie

² Institut Sylvio-Pastoral de Tabarka, Université de Jendouba, Tabarka, Tunisie

³ École Supérieure d'Agriculture de Moghrane, Université de Carthage, Zaghouan, Tunisie

Analyses effectuées

La composition chimique proximale (MS, MM, MAT par Kjeldahl, MG par Soxhlet, CB par Weende, ENA par différence) a suivi les méthodes AOAC (2005). Les fractions pariétales (NDF, ADF, ADL) ont été déterminées selon la méthode séquentielle de Van Soest *et al.* (1991), ainsi que la fraction NDF indigestible (iNDF). La valeur nutritive (dMO, UFL, UFV, PDI, BPR) a été calculée selon le système INRA 2018 (Sauvant et Nozière, 2018).

Un extrait méthanolique (méthanol 80 %, 24 h à l’obscurité) a servi de base aux dosages des polyphénols totaux (Folin-Ciocalteu, 760 nm, mg EAG/g MS), des flavonoïdes (AlCl₃, 415 nm, mg EQ/g MS), des tanins condensés (vanilline-H₂SO₄, 500 nm, mg EC/g MS) et des saponines totales (vanilline-H₂SO₄, 544 nm, mg ED/g MS). L’activité antioxydante a été évaluée par les tests DPPH (517 nm) et ABTS (734 nm), exprimés en pourcentage d’inhibition et en IC₅₀ (µg/mL).

Les essais de fermentation *in vitro* ont suivi la technique de production de gaz de Menke et Steingass (1988). Le liquide ruminal, filtré sur gaze sous CO₂, a été mélangé à une salive artificielle (McDougall, 1948) préparée selon la composition ionique standard. Pour chaque substrat, 300 mg MS ont été incubés dans des seringues de 100 mL à 39 °C pendant 96 h (n = 9 répétitions, plus un témoin constitué de jus de rumen seul, sans substrat), avec lecture du volume de gaz à 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72 et 96 h. Le méthane a été estimé par adsorption du CO₂ (NaOH 5 mol/L). Les paramètres cinétiques (a, b, c, t_{1/2}) ont été ajustés par régression non linéaire au modèle d’Ørskov et McDonald (1979): $V(t) = a + b \times (1 - e^{-ct})$. La digestibilité *in vitro* (dMOG), l’énergie métabolisable estimée (EMG) et les AGV totaux estimés (AGVtG) ont été calculés selon Menke et Steingass (1988), et le pH mesuré en fin d’incubation.

Analyse statistique

Les données ont été soumises à une analyse de variance à un facteur (substrat) selon la procédure GLM du logiciel SAS, et comparées par le test de Duncan ($\alpha=0,05$). Les paramètres cinétiques ont été déterminés par régression non linéaire (procédure NLIN de SAS). Les prix retenus pour l’estimation économique proviennent des données OEP (2023), GIVLAIT (2023) et FAO (2024). Le lentisque a été valorisé à son coût d’opportunité de collecte (0,06 DT/kg MS).

Tableau 1: Composition chimique et valeur nutritive du lentisque comparé à la référence (moyennes ± ET, n = 3)

Variable	Alimentation de base	Lentisque
MS (%)	88,8 ± 0,65	48,3 ± 0,65
MAT (% MS)	11,4 ± 0,13	8,40 ± 0,06
NDF (% MS)	47,1 ± 1,90	44,0 ± 0,19
ADF (% MS)	31,0 ± 0,35	22,9 ± 0,03
ADL (% MS)	4,32 ± 0,59	11,6 ± 0,83
dMO (%)	84,2 ± 0,30	94,1 ± 1,48
UFL	1,25 ± 0,004	1,49 ± 0,031
PDI (g/kg MS)	91,7 ± 0,40	92,3 ± 0,93
BPR (g/kg MS)	-2,67 ± 0,80	-34,2 ± 0,35
q (EM/EB)	0,739 ± 0,003	0,832 ± 0,013

MS: matière sèche; MAT: matières azotées totales; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; ADL: acid detergent lignin; dMO: digestibilité de la matière organique; UFL: unité fourragère lait; PDI: protéines digestibles dans l’intestin; BPR: balance protéique du rumen; q: coefficient de métabolisabilité.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le Tableau 1 présente la composition chimique et la valeur nutritive du lentisque comparée à la référence. Le lentisque présente un résultat assez inattendu: malgré un NDF de 44,0 % MS, sa lignification relativement faible (ADL/NDF = 26,3 %) lui vaut la dMO la plus élevée des deux substrats (94,1 % contre 84,2 % pour l’AB), et donc une UFL supérieure (1,49 contre 1,25), au-dessus même de la plupart des concentrés amylacés classiques. Sa teneur en MAT reste toutefois plus faible que celle de la référence (8,40 % contre 11,4 % MS), et sa BPR nettement négative (-34,2 g/kg MS) traduit un déficit azoté important qu’il faudrait compenser dans une ration complète.

Le profil phytochimique du lentisque (Tableau 2) tranche nettement avec celui de la référence. Il affiche une concentration en tanins condensés de 107 mg EC/g MS, plus de trois fois supérieure à celle de l’AB (30,7 mg EC/g MS), et des polyphénols totaux de 30,3 mg EAG/g MS contre seulement 0,3 mg EAG/g MS pour la référence. Cette concentration en tannins dépasse plus de cinq fois le seuil de 20 g TC/kg MS identifié comme efficace contre la méthanogenèse (Jayanegara *et al.*, 2015). Sur le plan antioxydant, le lentisque domine en ABTS (IC₅₀ = 338 µg/mL contre 1573 µg/mL pour l’AB), cohérent avec sa richesse en gallotannins hydrolysables.

Tableau 2: Métabolites secondaires et activité antioxydante (n = 3)

Paramètre	Alimentation de base	Lentisque
Polyphénols totaux (mg EAG/g MS)	0,30 ± 0,002	30,3 ± 0,014
Flavonoïdes (mg EQ/g MS)	2,88 ± 0,008	3,75 ± 0,007
Tanins condensés (mg EC/g MS)	30,7 ± 0,067	107 ± 0,030
Saponines (mg ED/g MS)	53,7 ± 0,034	128 ± 0,083
IC ₅₀ DPPH (µg/mL)	439 ± 0,31	457 ± 0,38
IC ₅₀ ABTS (µg/mL)	1573 ± 0,20	338 ± 1,42

EAG: équivalent acide gallique; EQ: équivalent quercétine; EC: équivalent catéchine; ED: équivalent diosgénine; IC₅₀: concentration inhibitrice à 50 % (valeur faible = forte activité antioxydante).

Les cinétiques de fermentation *in vitro* (Tableau 3, Figure 1) montrent un profil très différent entre les deux substrats. La référence présente un potentiel de fermentation brut élevé (b = 83,8 ml) avec une phase de latence marquée. Le lentisque montre un comportement plus inhabituel: des volumes de gaz modérés (V96h = 35,7 ml contre 77,0 ml pour l’AB), mais une fermentation qui continue de progresser jusqu’à 96 h sans vraiment se stabiliser (t_{1/2} = 22,8 h), ce qui correspond à un effet inhibiteur progressif de ses tanins condensés sur la microflore ruminale plutôt qu’à un blocage net (Mueller-Harvey *et al.*, 2019). En valeur absolue, la production de méthane *in vitro* est réduite de 57,7 % par rapport à la référence (117 ml/g MS contre 261 ml/g MS). Les volumes de gaz présentés ont été systématiquement corrigés par soustraction de la production de gaz du témoin (jus de rumen seul, sans substrat), conformément à la procédure de Menke et Steingass (1988).

Tableau 3: Paramètres cinétiques d'Ørskov-McDonald et production de méthane *in vitro* (n=9 répétitions)

Paramètre	Témoin	Alimenta- tion de base	Lentisque
V24h (ml)	11,0 ± 0,00	54,4 ± 2,83	18,9 ± 1,36
V96h (ml)	18,4 ± 0,73	77,0 ± 3,61	35,7 ± 1,73
a – fraction soluble (ml)	-0,66 ± 0,33	-4,71	-1,56
c – taux de fermenta- tion (h ⁻¹)	0,034 ± 0,003	0,050	0,03
t _{1/2} (h)	20,2	13,9	22,8
pH final	6,63 ± 0,02	6,31	6,17
dMOG (%)	–	75,6	40,6
EMG (MJ/kg MS)	–	10,2	5,25
CH ₄ G (ml/g MS)	–	261,0	117
Réduction CH ₄ vs référence	–	– (réf.)	-57,7 %

V24h: volume de gaz produit à 24 heures (ml); V96h: volume de gaz produit à 96 heures (ml); a: fraction soluble (ml); c: taux de fermentation (h⁻¹); t_{1/2}: temps de demi-fermentation (h); pH final: pH mesuré en fin d'incubation; dMOG: digestibilité de la matière organique *in vitro*; EMG: énergie métabolisable estimée *in vitro* (MJ/kg MS); CH₄G: méthane estimé *in vitro* (ml/g MS); Réduction CH₄ vs référence: diminution relative des émissions par rapport au traitement de référence.

Le lentisque fermente nettement moins que la référence, mais sa courbe continue de progresser jusqu'à la fin de l'incubation, sans plateau net, traduisant un effet inhibiteur progressif plutôt qu'un blocage immédiat de la fermentation.

Estimation économique d'une ration intégrant le lentisque

Pour donner une portée pratique à ces résultats, nous avons comparé un scénario de ration référence à un scénario intégrant le lentisque, pour une brebis de 45 kg en lactation modérée (besoins INRA 2018: UFL ≈ 1,30; PDI ≈ 95 g/j). Les réductions de méthane estimées résultent d'une sommation pondérée des CH₄G individuels (Tableau 4), selon la part de chaque substrat dans la ration.

Le scénario modéré (40 % lentisque) apparaît comme un

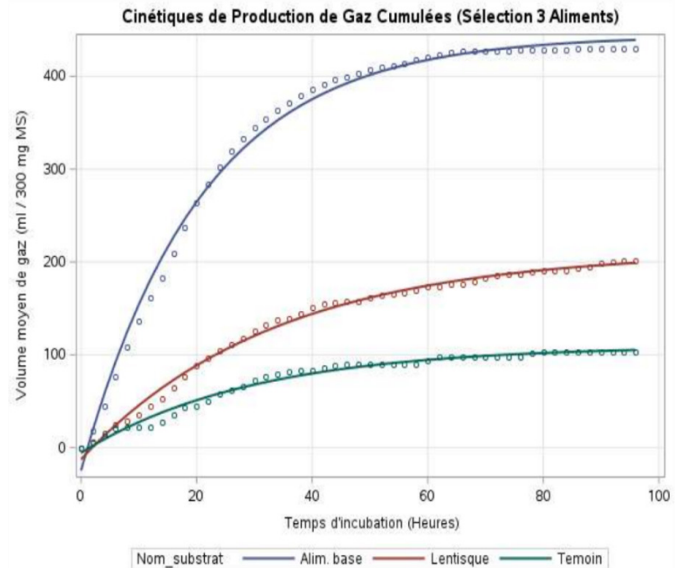


Figure 1: Cinétique de production de gaz total *in vitro* sur 96 h, modélisée selon Ørskov-McDonald (1979), pour le témoin (sans substrat), l'alimentation de base et le lentisque. Les points représentent les volumes mesurés aux temps de lecture standards.

compromis intéressant: il conserve près de 80 % de la réduction de méthane du scénario élevé, tout en limitant le déficit azoté (PDI = 91 g/j) et en réduisant le coût de 39 % par rapport à la référence. Le scénario élevé (55 % lentisque) maximise la réduction de méthane (-37 %) et l'économie (-49 %), mais accentue le déficit en PDI et nécessiterait un ajustement azoté de la ration.

Limites et perspectives

Ces résultats appellent quelques réserves. D'abord, ils reposent sur des essais *in vitro* qui ne reproduisent pas entièrement les conditions du rumen vivant; une validation *in vivo*, avec mesure directe du méthane, reste nécessaire avant toute recommandation pratique. Ensuite, la teneur en composés bioactifs du lentisque varie probablement selon la saison et le niveau de stress hydrique subi par la plante (Driouche *et al.*, 2023), ce qui justifierait une collecte répétée sur plusieurs saisons. Enfin, la BPR fortement négative du lentisque impose, dans une ration complète, un apport azoté complémentaire qu'il conviendrait de quantifier précisément, par exemple à partir d'une légumineuse fourragère locale.

Tableau 4: Comparaison économique et environnementale entre ration référence et ration intégrant le lentisque

	Référence (0 % len- tisque)	Scénario faible (20 % lentisque)	Scénario modéré (40 % lentisque)	Scénario élevé (55 % lentisque)
Alimentation de base (kg MS/j)	0,90	0,70	0,45	0,20
Lentisque (kg MS/j)	0,00	0,25	0,50	0,55
Concentré commercial (kg MS/j)	0,45	0,35	0,25	0,20
Total ration (kg MS/j)	1,35	1,30	1,20	0,95
UFL estimée	1,33	1,31	1,29	1,28
PDI estimée (g/j)	≈ 95	≈ 93	≈ 91	≈ 90
CH ₄ estimé (L/j)	≈ 313	≈ 268	≈ 222	≈ 197
Réduction CH ₄ vs référence	– (réf.)	-14 %	-29 %	-37 %
Coût journalier (DT/j)	0,793	0,612	0,486	0,401
Économie vs référence	– (réf.)	-23 %	-39 %	-49 %

Méthane estimé = somme pondérée des CH₄G (ml/g MS, Tableau 3) de chaque ingrédient selon sa part dans la ration totale. Les estimations de réduction du CH₄ sont basées sur les données *in vitro*; des validations *in vivo* restent nécessaires pour les confirmer. La BPR négative du lentisque (Tableau 1) suggère qu'un complément azoté serait à envisager au-delà du scénario modéré.

CONCLUSION

Le lentisque (*Pistacia lentiscus*) se distingue par une combinaison rare: un effet anti-méthanogène biochimique marqué ($-57,7\%$ de CH_4 *in vitro*) et une valeur énergétique élevée (UFL = 1,49), le tout à partir d'une ressource gratuite, disponible toute l'année sur les parcours tunisiens, sans dépendance à l'irrigation. Une ration intégrant le lentisque permet, dans nos estimations, de réduire le méthane de 37 % et le coût alimentaire de 49 % par rapport à une ration conventionnelle. Ces résultats offrent une base solide pour des essais *in vivo* qui permettraient de confirmer ces effets et de préciser les modalités d'incorporation optimales dans les rations ovines tunisiennes.

RÉFÉRENCES

- Beauchemin K.A., Ungerfeld E.M., Abdalla A.L. (2022). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis. *Animal*, 16: 100501.
- Bensalem J., Hamdi M., Trabelsi N. (2021). Chemical composition, antioxidant and anti-methanogenic activities of *Pistacia lentiscus*. *Industrial Crops and Products*, 167: 113527.
- Dríoiche A., Ailli A., Sakoui S. (2023). Phytochemical analysis and biological activities of *Pistacia lentiscus* from northern Morocco. *Plants*, 12: 831.
- FAO (2024). FAOSTAT – Agricultural input prices, Tunisia 2020–2024. Food and Agriculture Organization, Rome.
- GIVLAIT (2023). Bulletin mensuel des prix des matières premières fourragères. Groupement Interprofessionnel des Viandes Rouges et du Lait, Tunis.
- Jayanegara A., Leiber F., Kreuzer M. (2015). Meta-analysis of dietary tannin level and methane formation in ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96: 365–375.
- MARHP (2023). Barèmes de la main-d'œuvre agricole journalière. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, Tunis.
- McDougall E.I. (1948). Studies on ruminant saliva. *Biochemical Journal*, 43: 99–109.
- Menke K.H., Steingass H. (1988). Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production. *Animal Research and Development*, 28: 7–55.
- Mueller-Harvey I., Bee G., Dohme-Meier F. (2019). Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants. *Crop Science*, 59: 861–885.
- OEP (2023). Données tarifaires fourrages cultivés. Office de l'Élevage et des Pâturages, Tunis.
- Ørskov E.R., McDonald I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, 92: 499–503.
- Sauvant D., Nozière P. (Éds.) (2018). *Alimentation des ruminants: INRA 2018*. Quæ, Versailles, 728 p.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. (1991). Methods for dietary fiber and nonstarch polysaccharides. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583–3597.