

VARIATION SAISONNIÈRE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET DES PARAMÈTRES DE FERMENTATION DE *FRAXINUS ANGUSTIFOLIA* (VAHL, 1804) RÉCOLTÉ DU NORD-EST DE L'ALGÉRIE

Résumé

La composition chimique, la concentration en métabolites secondaires, les paramètres de fermentation et l'effet du PolyEthyleneGlycol (PEG) sur la production de gaz et de méthane du matériel végétal du frêne (*Fraxinus angustifolia* (Vahl, 1804)) brouté par les ruminants pâturant l'aulnaie de Ain Khiair ; forêt marécageuse de la réserve de biosphère d'El-Kala au nord-est algérien, ont été déterminés durant trois saisons (automne, printemps et été) afin d'évaluer son potentiel nutritif ainsi que leurs propriétés anti méthanogènes. L'espèce étudiée dispose des teneurs remarquables en matière azotée totale (MAT) qui dépassent 12 %/kg MS avec un maximum au printemps de l'ordre de 17,73 %/kg MS. Le contenu en fibres totales (NDF) et en lignine (ADL) oscille entre 45,66 et 36,73 %/kg MS et entre 8,64 et 22,04 %/kg MS respectivement, les valeurs les plus faibles sont enregistrées en automne et les plus élevées au printemps. Les concentrations en métabolites secondaires sont très faibles pour une espèce arborée, notamment pour les tanins condensés qui ne dépassent guère les 3 g équivalent acide leucocyanidine/Kg MS. Les résultats de la fermentation *in vitro* ont révélé que les substrats incubés sont très digestibles vu les volumes de gaz total produit qui varient entre 49,35 et 62,71 ml/0,3 gMS, traduit par des valeurs en digestibilité de la matière organique (dMO) variant entre 58,43 et 72,39% en été et printemps, respectivement. L'ajout de PEG n'a pas d'effet significatif sur la production de gaz, néanmoins il n'en est pas de même pour la production de méthane, dont le PEG a amélioré sa production par des taux allant de 15,03 à 100,18 % en automne et en été respectivement.

Sur la base des résultats présentés, l'espèce étudiée montre un excellent profil nutritif qui pourrait garantir une ressource d'affouragement notamment en saison estivale caractérisée par une pénurie alimentaire. Ainsi, l'espèce a des propriétés anti-méthanogènes, ce qui serait bénéfique pour l'environnement.

Summary

Seasonal variation in the chemical composition and fermentation parameters of *Fraxinus angustifolia* (Vahl, 1804) harvested from northeastern Algeria

The chemical composition, secondary metabolites concentration, fermentation parameters, and the effect of PolyEthyleneGlycol (PEG) on gas and methane production from the vegetative material of ash tree (*Fraxinus angustifolia* (Vahl, 1804)) browsed by ruminants in the alder grove of Ain Khiair; swampy forest of the El-Kala Biosphere Reserve in northeastern Algeria, were determined over three seasons (autumn, spring, and summer) to assess its nutritional potential and anti-methanogenic properties. The studied species exhibited remarkable crude protein (CP) exceeding 12%/kg dry matter (DM), with a peak in spring reaching 17.73%/kg DM. The total fiber content (NDF) and lignin (ADL) ranged from 45.66 to 36.73 %/kg DM and from 8.64 to 22.04 %/kg DM, respectively, with the lowest values recorded in autumn and the highest in spring. The concentrations of secondary metabolites were very low for a tree species, especially for condensed tannins, which hardly exceeded 3 g equivalent leucocyanidin/Kg DM. Results from *in vitro* fermentation revealed that the incubated substrates were highly digestible, as indicated by total gas production volumes ranging from 49.35 to 62.71 ml/0.3 g DM, translating to organic matter digestibility (OMD) values varying between 58.43 and 72.39%, in summer and spring, respectively. The addition of PEG had no significant effect on gas production; however, it had a distinct impact on methane production, enhancing it by rates ranging from 15.03 to 100.18% in autumn and summer, respectively.

Based on the presented results, the studied species demonstrates an excellent nutritional profile that could ensure a feed resource, especially in the summer season characterized by food scarcity. Additionally, the species possesses anti-methanogenic properties, which could be beneficial for the environment.

Auteurs

A. LAADJAL¹, K. CHAKER-HOUD^{1,2},
L. MEBIROUK-BOUDECHICHE^{1,2}, H.
SELM³, A. DHIFALLAH³, H. ROUISSI⁴

¹ Laboratoire d'épidémiologie, santé, productions et reproduction, expérimentation et thérapie cellulaire des animaux domestiques et sauvages, Université Chadli Bendjedid, BP 73, 36 000, EL Tarf, ALGERIE, ²Laboratoire d'agriculture et fonctionnement des écosystèmes, Université Chadli Bendjedid, BP 73, 36000, EL Tarf, ALGERIE, ³ Laboratoire des ressources sylvo-pastorales, Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka, BP 345,8110, Tabarka, TUNISIE, ⁴ Laboratoire ADIPARA, Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur, 7030 Mateur, TUNISIE.

Auteur correspondant:

LAADJAL Abdessatar, laadjal-abdessatar@univ-eltarf.dz

Mots clés

Aulnaie glutineuse, ligneux fourragers, valeur nutritive, digestibilité, PolyEthyleneGlycol.

Key words

Glutinous Alder grove, woody fodders, nutritive value, digestibility, PolyEthyleneGlycol.

Références de l'article

LAADJAL A. *et al.* (2024). Variation saisonnière de la composition chimique et des paramètres de fermentation de *Fraxinus angustifolia* (Vahl, 1804) récolté du Nord-est de l'Algérie. *Fourrages* 258, 17-26.

Introduction

Les ressources alimentaires pour les ruminants jouent un rôle crucial dans la production animale et, par extension, dans la sécurité alimentaire mondiale. En effet, les ruminants tels que les bovins, les ovins et les caprins représentent une part importante de la production de protéines animales à l'échelle planétaire. Selon la FAO (2019), la production mondiale de viande bovine s'élevait à 68 millions de tonnes en 2017, soit environ 22 % de la production totale de viande. De même, la production de viande ovine et caprine atteignait 18 millions de tonnes, soit 6% du total (FAO, 2019). Fournir une alimentation adaptée et durable à ces cheptels est donc essentiel pour nourrir la population mondiale, dont la consommation de produits animaux ne cesse d'augmenter sous l'effet de la croissance démographique et de l'élévation des niveaux de vie dans les pays émergents (Alexandratos et Bruinsma, 2012). Cependant, le besoin croissant en ressources fourragères, en particulier celles issues de plantes ligneuses, est devenue une préoccupation majeure face aux défis tels que la dégradation des parcours, le changement climatique et la pression croissante sur les terres agricoles (Seidavi *et al.*, 2020). À cet égard, l'exploration des possibilités d'utilisation des ligneux en alimentation des ruminants représente une avenue prometteuse pour répondre aux besoins nutritionnels des animaux tout en contribuant à la durabilité des systèmes d'élevage.

Les plantes ligneuses, comprenant une gamme diversifiée d'arbres, d'arbustes et de lianes, offrent des avantages potentiels en tant que sources de nutriments pour les ruminants (Karki *et al.*, 2010, Luske and Van Eekeren, 2018 ; Vandermeulen *et al.*, 2018). Leur résilience aux conditions environnementales difficiles (Harvey *et al.*, 2013), leur capacité à fixer le carbone (Nair, 2012), et leur adaptabilité à des systèmes de pâturage variés font des ligneux des candidats intéressants pour une utilisation optimale dans les pratiques d'alimentation des ruminant.

Les feuilles de frêne ont été signalées comme un fourrage intéressant dans l'alimentation des ruminants en raison de leur teneur importante en énergie et en protéines (Bourbouze, 1982). Selon Bourbouze (2005), les agriculteurs albanais stockent les feuilles sèches de frêne pour nourrir les chèvres en hiver. Plusieurs auteurs ont mené des expériences sur des espèces de frêne et ont démontré leur importance nutritive pour les ruminants (Bernard *et al.*, 2020 ; Ginane *et al.*, 2018 ; Bencherchali *et al.*, 2019). D'autres se sont focalisés sur la caractérisation de la valeur nutritive via l'étude de la composition chimique et de la digestibilité *in vitro* (Émile *et al.*, 2017 ; Novak *et al.*, 2020 ; Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015a ; Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2018 ; Wielemans *et al.*, 2020 ; Djellal *et al.*, 2016 ; Enri *et al.*, 2020). Il s'agit notamment de leur teneur élevée en matière azotée totale, de leur contenu important en parois totales et surtout leur concentration très faible en tanins condensés, qui leur confère une bonne digestibilité. D'après Thiébault (2005), un frêne pourrait fournir 4 kg de matière sèche par jour (soit 35-40% de la ration alimentaire d'une vache)

pendant 10 jours.

En Algérie, Le genre *Fraxinus* est représenté par deux espèces : *Fraxinus angustifolia* (Vahl 1804) et *Fraxinus xanthoxyloides* (Wallich 1844) (Abdelguerfi et Laouar, 2000). *Fraxinus angustifolia* est la plus rencontrée en Algérie (Djellal *et al.*, 2016), et constitue une excellente ressource fourragère pour répondre aux différents besoins des ruminants (Bencherchali *et al.*, 2019). La distribution des feuilles de frêne avec de la paille couvre non seulement les besoins d'entretien des moutons à l'engrais mais assurent également un gain moyen quotidien important atteignant 120g/jour. D'après Abdelguerfi et Laouar (2000), la production laitière est souvent améliorée par la consommation du frêne. En effet, les éleveurs n'ayant pas assez de frênes louent les arbres de leurs voisins en les émondant et les utilisant pour nourrir leurs bêtes.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la variation saisonnière de la composition chimique, les concentrations en métabolites secondaires et la digestibilité *in vitro* de la matière organique de cette espèce broutée par les ruminants au niveau de l'aunlaie de Ain Khiaur au sein du parc national d'El Kala. En plus, l'effet du polyéthylène glycol (PEG) sur la production de gaz et sur les émissions de méthane entérique ont été aussi évalués. Cela pourrait nous informer sur le potentiel nutritif et la capacité anti méthanogène de cette espèce.

Matériel et méthode

Préparation de la zone d'étude

Cette étude a été menée dans la forêt marécageuse connue sous le nom d'Aunlaie de Ain Khiaur (figure 1). Cet écosystème, originaire d'Afrique du Nord, se distingue par des conditions biogéographiques, édaphiques et climatiques particulières qui lui confèrent une diversité floristique exceptionnelle, comptant 373 espèces, dont 28 sont considérées comme très rares (TAD 2011). Située entre 36,799°N et 8,322°E, à 5 km du chef-lieu d'El Tarf, cette zone fait partie de la réserve de biosphère d'El Kala, caractérisée par un climat subhumide avec des hivers doux et des étés secs (figure 2).

La forêt bénéficie à la fois des apports réguliers en eau des aquifères dunaires et des crues de l'Oued Kebir. En raison de la disponibilité fourragère ligneuse et herbacée tout au long de l'année, elle est considérée comme une zone à vocation sylvopastorale. Les animaux consomment les parties accessibles des arbres et arbustes, tandis que les pasteurs pratiquent l'émondage des parties qui sont loin de leur portée pour les mettre à leur disposition. En raison de la pression anthropique intense et continue exercée sur l'Aunlaie, elle a été classée comme un site d'importance internationale selon les critères de Ramsar en 2003.

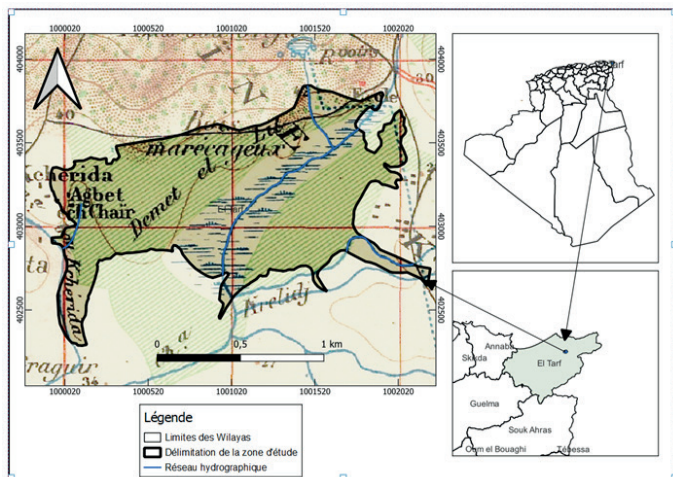


FIGURE 1 : Présentation de la zone d'étude
 FIGURE 1 : Presentation of the study area

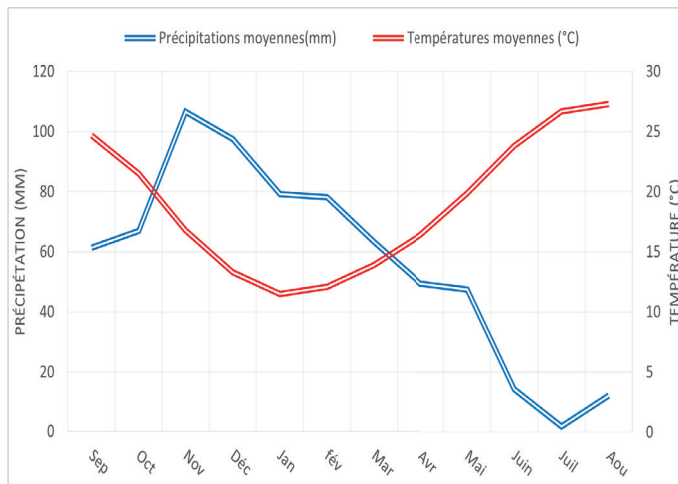


FIGURE 2 : Diagramme pluviothermique de la zone d'étude
 FIGURE 2 : Rain-temperature diagramme of the study area

Matériel végétal

Les feuilles et les brindilles tendres (parties consommées par les ruminants sur le parcours) du frêne à feuilles étroites (*Fraxinus angustifolia* [Vahl, 1804]), un arbre à feuilles caduques de la famille des *Oleaceae*, ont été collectés au niveau du site d'étude. L'échantillonnage a eu lieu en automne, au printemps et en été de l'année 2018, saisons au cours desquelles les feuilles de l'espèce sont assez abondantes. Les échantillons qui ont été prélevés d'au moins 10 pieds afin d'obtenir une aliquote représentative, ont été regroupés en un échantillon global séché dans une étuve ventilée à 45°C pendant 72 h afin d'éviter la dénaturation des substrats préalablement broyés à une grille de 1mm et conservés dans des flacons hermétiquement fermés à l'abri de l'humidité pour les analyses ultérieures. Ces dernières ont été effectuées en triple. Les différentes analyses et expérimentations ont été réalisées au laboratoire des Ressources Sylvopastorales de l'Institut Sylvopastoral de Tabarka (ISPT), Tunisie.

Matériel animal

Le contenu ruminal a été recueilli à partir des caprins adultes qui pâturent en parcours forestiers abattus à l'abattoir municipal de Tabarka, Tunisie juste après éviscération dans un thermos préchauffé (39°C) et transféré rapidement au laboratoire. Le contenu ruminal (mélange de jus et de particules alimentaires) est immédiatement filtré à travers trois couches de gaze chirurgicale. Le filtrat obtenu correspond au jus de rumen indispensable pour effectuer l'essai de digestibilité *in vitro*.

Analyse de la composition chimique primaire et métabolites secondaires

Les analyses ont porté sur les teneurs en matière sèche (MS) et en matière minérale (MM), conformément à la procédure de l'AOAC (1990). La matière azotée totale a été quantifiée par la méthode de Kjeldahl (ISO, 2009). La fraction pariétale, comprenant NDF (Neutral Detergent Fiber), ADF (Acid Detergent Fiber) et ADL (Acid Detergent Lignin) a été déterminée selon la méthode de Van Soest et al. (1991). Les résultats sont exprimés en pourcentage par kilogramme de matière sèche (%/kg MS). Les phénols totaux (PT) ont été mesurés à l'aide du réactif Folin Ciocalteu, et les tanins totaux (TT) ont été estimés en tant que différence entre les phénols totaux avant et après le traitement avec le PolyVinylPolyPirrolidone (PVPP), conformément à la méthode décrite par Makkar (2003a). Les résultats sont exprimés en équivalent d'acide tannique par kilogramme de matière sèche (g EAT/kg MS). Les tanins condensés (TC) ont été déterminés par la méthode Butanol-HCl en présence d'un réactif ferrique, selon la technique de Porter *et al.*, (1986), et les résultats sont exprimés en équivalent leucocyanidine par kilogramme de matière sèche (g EAL/kg MS).

Essai de digestibilité *In vitro*

Pour mesurer la production de gaz, la méthode adoptée suit les recommandations de Menke (1988). Elle implique de mettre 0,3g de substrat broyé avec 30ml d'inoculum (composé de 20ml de salive artificielle et 10 ml de jus de rumen) dans une seringue de 100 ml. Cette seringue est ensuite placée dans un bain-marie maintenu à 39 °C tout au long de l'expérience. Chaque échantillon a été incubé en double, accompagné de deux seringues ne contenant que de l'inoculum, servant de témoins. Les volumes de gaz produits ont été mesurés après 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48 et 72

heures d'incubation.

L'effet du PolyEthylèneGlycol (PEG) a été évalué en ajoutant deux seringues supplémentaires par échantillon lors de la première expérience, contenant 0,2 g de PEG (4000), et le volume final de gaz a été enregistré après 24 heures. Après chaque incubation, 4 ml de NaOH (10 N) ont été injectés dans chaque seringue, absorbant le CO₂ et provoquant la rétraction du piston. La différence de volume représente la quantité de méthane produite (Fievez et al., 2005).

Détermination des paramètres de fermentation et évaluation de l'activité biologique des tanins

Les caractéristiques cinétiques de la production de gaz sont prédites à l'aide d'une régression non linéaire en utilisant la procédure NLIN du logiciel SAS (2002). Cette approche repose sur le modèle exponentiel suggéré et modélisé à la production de gaz total par Ørskov et McDonald (1979).

$$Y = a + b(1 - e^{-ct})$$

Avec : y = gaz produit à l'instant t, a = production de gaz à partir de la fraction immédiatement soluble (ml), b = production de gaz à partir de la fraction insoluble (ml), c = vitesse de production de gaz (h⁻¹), t = le temps d'incubation (h)

L'évaluation des paramètres de digestibilité porte sur le calcul de la digestibilité de la matière organique (dMO), conformément à la méthode de Menke (1988), ainsi que la concentration en acides gras volatils (AGV) et la teneur en énergie métabolisable (EM), comme défini par Getachew et al. (2000), et cela à partir de la production de gaz après une incubation de 24 heures.

$$dMO (\%) = 14,88 + 0,889 GP + 0,45 MAT + 0,0651 MM$$

$$EM (MJ/kg MS) = 2,2 + 0,1357 GP + 0,0057 MAT + 0,000859 MAT$$

$$AGV (mmol/seringue) = 0,0239 GP - 0,0601$$

Avec : GP : le volume du gaz produit (ml/ 0,3g MS) à 24 heures d'incubation ; MAT : matière azotée totale en (g/kg MS) ; MM : matière minérale en (g/kg MS).

L'activité biologique des tanins a été évaluée en faisant le rapport entre la production de gaz avec l'ajout de PEG et celle sans PEG, pour un même échantillon, mesuré après une incubation de 24 heures.

Traitement statistique

Les résultats ont été soumis à une analyse de la variance selon la procédure GLM du logiciel SAS (2002) et comparés par le test des rangs multiples Duncan (1955)

Equation du modèle statistique :

$$Y_{ij} = \mu + A_i + E_{ij}$$

Avec :

Y_{ij} : Paramètre mesuré

μ : Moyenne générale

A_i : Effet de l'ième saison

E_{ij} : Erreur résiduelle

L'analyse de corrélation entre les éléments de la composition chimique et les paramètres de digestibilité *in vitro* a été effectuée à l'aide de l'application Correlation Plot du logiciel OriginPro (2024) (version d'évaluation destinée aux étudiants).

Résultats

Composition chimique

La composition chimique de l'espèce étudiée est affichée dans le tableau 1. Les paramètres analysés sont fortement influencés par la saison de récolte (p<0,05). En effet, les taux de MS varient entre 31,84 et 44,47 % au printemps et en été respectivement. Les teneurs saisonnières moyennes en MO sont de l'ordre de 90%/kg MS traduit par des valeurs de MM qui oscillent entre 8,75 et 11,16%/kg MS, au printemps et automne respectivement. En outre, le contenu en MAT montre une richesse remarquable qui dépasse 12,69 %/kg MS enregistré en été avec un maximum au printemps qui atteint 17,73%/kg MS.

Teneurs en parois cellulaires

Les fractions pariétales du matériel végétal analysé sont indiquées dans le tableau 2. A l'exception de l'automne qui montre 36,73%/kg MS en NDF, les résultats révèlent des valeurs importantes en parois totales pour les autres saisons qui présentent une moyenne de 45%/kg MS. La portion en ADF était importante au printemps (31,96%/kg MS) cependant la teneur en cellulose brute (CB) se montre la plus faible (9,65%/kg MS) avec un maximum détecté en été (13,57%/kg MS). La concentration en ADL la plus élevée est enregistrée au printemps (22,04%/kg MS) alors que l'espèce s'avère moins lignifiée en automne (8,64%/kg MS).

Concentrations en métabolites secondaires

Les concentrations en métabolites secondaires sont reportées dans le tableau 3. L'été est la saison dont l'espèce présente les fortes concentrations en PPT (31,44 g EAT/kg MS). Par ailleurs, les teneurs en TT sont similaires (p=0.6106) avec 14 g EAT/kg MS en moyenne. En revanche, les valeurs des TC se diffèrent significativement (p<0,001) en variant entre 0,2 et 3 g EAT/kg MS en été et en automne respectivement. Les tanins du matériel

TABLEAU 1 : Composition chimique de *Fraxinus angustifolia*
TABLE 1 : Chemical composition of *Fraxinus angustifolia*

Saison	MS	MO	MM	MAT
Automne	37,6 ± 0,43b	88,85 ± 0,02b	11,16 ± 0,02a	14,77 ± 0,23b
Printemps	31,84 ± 0,02c	91,26 ± 0,04a	8,75 ± 0,04c	17,73 ± 0,25a
Été	44,47 ± 1,12a	91 ± 0,07a	9 ± 0,07b	12,69 ± 0,3c
p	0,0009	<0,0001	<0,0001	0,0007

MS : matière sèche (%); MO : matière organique (%/kg MS); MM : matière minérale (%/kg MS); MAT : matière azotée totale (%/kg MS); abcd : les moyennes sur la même colonne avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les saisons (P<0,05).

TABLEAU 2 : Teneurs en parois cellulaires de *Fraxinus angustifolia*
TABLE 2 : Cell wall contents of *Fraxinus angustifolia*

Saison	NDF	ADF	ADL	CB
Automne	36,73 ± 2,28b	18,41 ± 1,82c	8,64 ± 0,89b	9,77 ± 0,93b
Printemps	45,66 ± 0,49a	31,69 ± 0,49a	22,04 ± 1,74a	9,65 ± 1,25b
Été	44,99 ± 1,63a	26,12 ± 0,55b	12,55 ± 1,09b	13,57 ± 0,54a
p	0,0207	0,0031	0,0041	0,0418

NDF : Neutral Detergent Fiber (%/kg MS); ADF : Acid Detergent Fiber (%/kg MS); ADL : Acid Detergent Lignin (%/kg MS); CB: Cellulose Brute (%/kg MS); abcd : les moyennes sur la même colonne avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les saisons (P<0,05).

TABLEAU 3 : Concentrations en métabolites secondaires de *Fraxinus angustifolia*
TABLE 3 : Secondary metabolites concentration of *Fraxinus angustifolia*

Saison	PT	TT	TC	ABT
Automne	26,01 ± 0,96b	14,75 ± 0,65a	3 ± 0,12a	1 ± 0a
Printemps	28,27 ± 0,66b	14 ± 1,07a	0,21 ± 0b	1 ± 0a
Été	31,44 ± 0,66a	13,98 ± 0,64a	0,2 ± 0,04b	1,02 ± 0,02a
p	0,0136	0,6106	<0,0001	0,4648

PT : phénols totaux (g EAT) /kg MS); TT : tanins totaux (g EAT); TC : tanins condensés (g EAL) /kg MS); ABT : activité biologique des tanins; abcd : les moyennes sur la même colonne avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les saisons (P<0,05).

végétal incubé n'ont aucune activité biologique et cela pour les toutes saisons (p=0.418).

production de gaz (c) varie entre 0,08 h⁻¹ et 0,09 h⁻¹ avec un maximum détecté en été et au printemps.

Cinétique de production de gaz et paramètres de fermentation

Les paramètres de production de gaz, estimés à partir de la courbe cinétique de production de gaz (figure 3), sont présentés dans le tableau 4. La production cumulée de gaz à différents temps d'incubation varie entre les saisons (p=0.0016) et oscille entre 49,35 et 62,71 ml/ 0,3g MS en été et au printemps respectivement. Les paramètres issus du modèle statistique diffèrent de manière hautement significative (p <0,0001) avec une prédominance remarquable de la saison printanière qui montre les valeurs les plus élevées pour les trois fractions cinétiques a, b et a+b (0,48 ;57,14 et 57,62 ml respectivement). La constante de vitesse de

Paramètres de digestibilité *in vitro*

Les paramètres de digestibilité *in vitro* des substrats de l'espèce étudiée sont notés dans le tableau 5. Les résultats ont révélé qu'à la fin de l'incubation les substrats peuvent émettre des quantités importantes de gaz pour les 3 saisons de récolte allant de 41,9 ml/0,3g MS en été à 55,08 ml/0,3g MS au printemps. Les valeurs de la dMO qui varient proportionnellement avec les volumes de gaz, montrent que le matériel végétal prélevé en printemps était le plus digestible (72,39 %) suivi par ceux récoltés en automne et en été (63,05 et 58,43%), respectivement. Également, l'espèce a enregistré des valeurs importantes en EM et en AGV qui oscillent

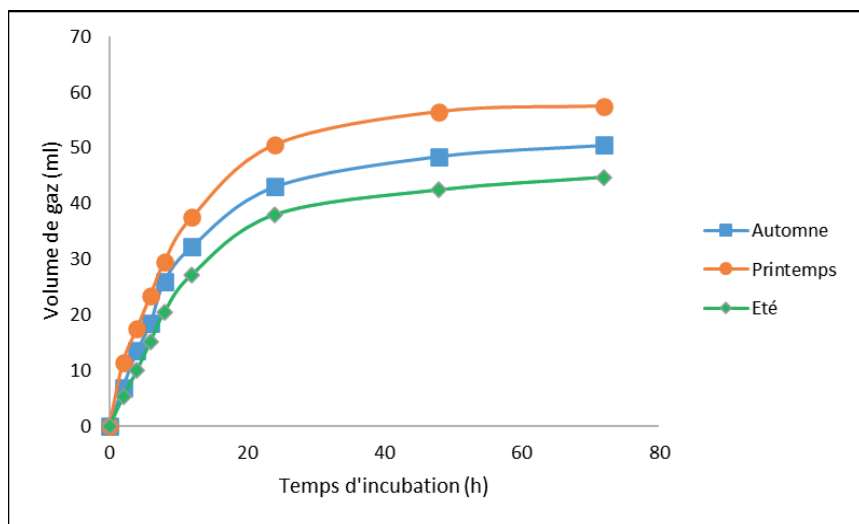


FIGURE 3 : Courbes de cinétique de production de gaz de *Fraxinus angustifolia*
 FIGURE 3 : Kinetic gas production curves of *Fraxinus angustifolia*

entre 8,04 et 9,89 MJ/kg MS et entre 0,95 et 1,26 mmol/siringue, respectivement pour l'EM et les AVG.

L'effet du PEG sur la production du gaz et de méthane

L'effet de l'addition de PEG aux substrats de l'espèce étudiée lors de la fermentation *in vitro* est rapporté dans le tableau 6. Les valeurs de la production de gaz après 24 h d'incubation des substrats prélevés durant les trois saisons diffèrent significativement ($p < 0,05$). La variation s'étend de 41,9 et 55,08 ml/0,3 g MS entre l'été et le printemps, respectivement. En revanche, le PEG a significativement amélioré la production de méthane ($p = 0,0124$) avec des taux d'augmentation remarquables enregistrés en été et au printemps (100,18 et 85,76 ml/0,3g MS), respectivement.

Relation entre la composition chimique et les paramètres de digestibilité *in vitro*

La figure 4 montre les corrélations entre les différents éléments de la composition chimique et les paramètres issus de la digestibilité *in vitro* du matériel végétal de l'espèce étudiée. Les teneurs en MAT sont fortement corrélées ($p < 0,001$) avec les valeurs de dMO et EM ($r = 0,98$). Les contenus en NDF, ADF et ADL sont positivement corrélés les uns aux autres ($r = 0,76-0,94$). D'autre part, les

concentrations en TC sont négativement corrélées avec les teneurs en parois cellulaires ($r = -0,72$ à $-0,97$) tandis qu'elles n'ont pas de relations avec la MAT, dMO et EM ($r = -0,18$ à $-0,094$).

Discussion

D'après Chebli *et al.* (2021), la saison de prélèvement peut affecter la valeur nutritive. Cette variation saisonnière est expliquée par la variabilité de la production de la biomasse et de la composition chimique en raison de l'avancement phénologique et des changements climatiques (Ndondo *et al.*, 2004 ; Kökten *et al.*, 2012). En effet, la maturité physiologique des plantes s'associe à une augmentation de la teneur en fractions pariétales et une diminution en apports azotés (Rawnsley *et al.*, 2002). Ainsi, le stress hydrique en été s'accompagne d'une augmentation de la teneur en lignine (Chebli *et al.*, 2021) et en tanins (Salem, 2005). De même, plusieurs études ont montré que la teneur en MAT ou parfois la digestibilité de certaines espèces était meilleure au printemps qu'à l'automne (Papanastasis *et al.*, 2008 ; Mahieu *et al.*, 2019). Dans notre cas, les résultats ont révélé des taux de MS inférieurs à 50%, la teneur élevée en eau est imputée au climat humide de la région (Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015a) et l'aspect hydromorphe de l'aulnaie (Laadjal *et al.*, 2022). Les taux obtenus sont similaires à ceux déclarés par Emile *et al.* (2017) (43,3%) et Wielemans *et al.*

TABEAU 4 : Paramètres cinétiques de fermentation de *Fraxinus angustifolia*
 TABLE 4 : Fermentation kinetic parameters of *Fraxinus angustifolia*

Saison	PT	TT	TC	ABT
Automne	26,01 ± 0,96b	14,75 ± 0,65a	3 ± 0,12a	1 ± 0a
Printemps	28,27 ± 0,66b	14 ± 1,07a	0,21 ± 0b	1 ± 0a
Été	31,44 ± 0,66a	13,98 ± 0,64a	0,2 ± 0,04b	1,02 ± 0,02a
p	0,0136	0,6106	<0,0001	0,4648

Gaz total : volume de gaz produit après la fin de l'incubation (ml/ 0,3g MS) ; a : Volume de gaz produit à partir de la fraction soluble facilement fermentescible (ml) ; b : Volume de gaz produit à partir de la fraction insoluble potentiellement fermentescible (ml) ; a+b : La production potentielle du gaz (ml) c : La vitesse de production de gaz (heure-1) ; abcd : Les moyennes sur la même colonne avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les saisons ($P < 0,05$).

TABLEAU 5 : Paramètres de digestibilité in vitro de *Fraxinus angustifolia*
TABLE 5 : In vitro digestibility parameters of *Fraxinus angustifolia*

Saison	Gaz 24h	dMO	EM	AGV
Automne	46,41 ± 1,53b	63,05 ± 1,46b	8,68 ± 0,21b	1,05 ± 0,04b
Printemps	55,08 ± 0,77a	72,39 ± 0,57a	9,89 ± 0,1a	1,26 ± 0,02a
Été	41,9 ± 1,56c	58,43 ± 1,24c	8,04 ± 0,21c	0,95 ± 0,04c
p	0,0049	0,0027	0,0046	0,0048

Gaz 24h : volume de gaz produit après 24 heures d'incubation (ml/ 0,3g MS) ; dMO : digestibilité de la matière organique (%) ; EM : énergie métabolisable (MJ/kg MS) ; abcd : les moyennes sur la même colonne avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les saisons (P<0,05).

(2020) (39,2 %) pour *Fraxinus excelsior* et cela en automne et en été respectivement. Les teneurs en MM oscillent entre 7 et 10 %/kg MS/kg MS et corroborent avec celles reportées par Mebirouk-Boudechiche et al. (2015a) ; Mebirouk-Boudechiche et al. (2018) et Djellal et al. (2016) (7,03 ; 9,12 et 10,7 %/kg MS, respectivement) pour la même espèce. Cette fluctuation est expliquée par le stade phénologique de la plante (Spears, 1994). Les teneurs saisonnières en MAT varient de 12,96 à 17,73 %/kg MS. Les échantillons analysés montrent des teneurs supérieures au minimum de 7 à

8 %/kg MS requis pour fournir l'ammoniac nécessaire au microbiote ruminal pour une croissance optimale (Norton, 1995), ce qui peut assurer un bon fonctionnement du rumen (Van Soest et al., 1994); et constituer un bon aliment assurant une production optimale (Chebli et al., 2021). Ces résultats sont de même ordre de grandeur avec ceux déclarés par Emile et al., (2017) pour *Fraxinus excelsior* et Bencherchali et al., (2019) pour *Fraxinus angustifolia* et cela pour l'automne et l'été (14,7 et 12,5 %/kg MS respectivement). Le contenu saisonnier en NDF, ADF et ADL présentent des différences

TABLEAU 6 : L'effet du PEG sur la production du gaz et de méthane de *Fraxinus angustifolia*
TABLE 6: The effect of PEG on gas and methane production of *Fraxinus angustifolia*

Saison	Production totale du gaz (ml/0,3g MS)			Production de CH4 (ml/0,3g MS)		
	(-PEG)	(+PEG)	Augmentation (%)	(-PEG)	(+PEG)	Augmentation (%)
Automne	46,41 ± 1,53b	46,41 ± 1,53b	0 ± 0a	9,85 ± 0,19a	11,33 ± 0,76b	15,03 ± 5,53c
Printemps	55,08 ± 0,77a	55,08 ± 0,77a	0 ± 0a	8,59 ± 0,19b	15,95 ± 0,58a	85,76 ± 2,62b
Été	41,9 ± 1,56c	42,45 ± 0,78c	1,35 ± 1,91a	5,79 ± 0,39c	11,58 ± 0,78b	100,18 ± 0,01a
p	0,0049	0,0030	0,4648	0,0014	0,0124	0,0003

abcd : Les moyennes sur la même colonne avec des lettres différentes indiquent des différences significatives entre les saisons (P<0,05)

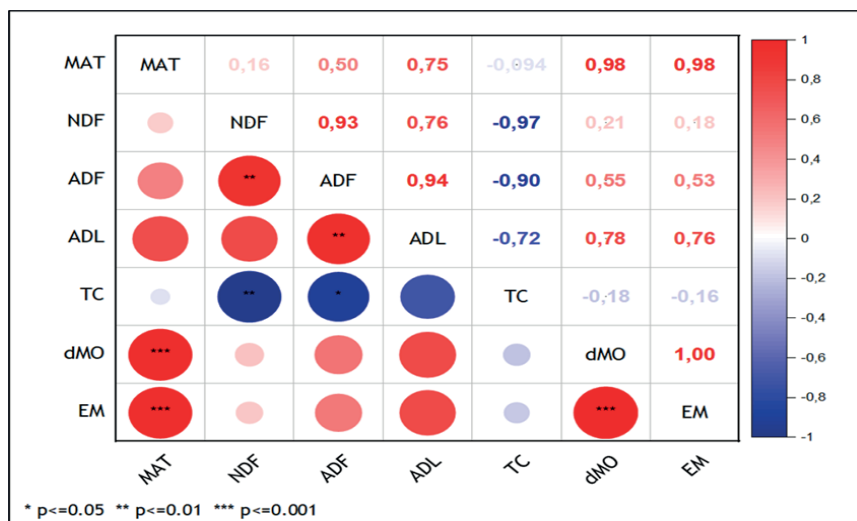


FIGURE 4 : Figure 04 : Matrices de corrélation entre les éléments de la composition chimique et les paramètres de digestibilité in vitro de *Fraxinus angustifolia* (MAT : matière azotée totale (%/kg MS) ; NDF : Neutral Detergent Fiber (%/kg MS) ; ADF : Acid Detergent Fiber (%/kg MS) ; ADL: Acid Detergent Lignin (%/kg MS) ; TC : tanins condensés (g équivalent acide leucocyanidine (EAL) /kg MS) ; dMO : digestibilité de la matière organique (%) ; EM : énergie métabolisable (MJ/kg MS))

FIGURE 4 : Correlation plot between the elements of chemical composition and in vitro digestibility parameters of *Fraxinus angustifolia*

significatives ($P < 0,05$). Les valeurs enregistrées en automne et en été sont comparables à celles mentionnées par Novak *et al.* (2020) pour *Fraxinus excelsior* et *Fraxinus americana* et Bencherchali *et al.* (2019) pour *Fraxinus angustifolia*. En général, les teneurs en fibres augmentent avec la maturité des plantes (Mahieu *et al.*, 2021, Kamalak *et al.*, 2006). Cependant nos résultats au printemps montrent des teneurs plus élevées, ceci est probablement attribué à la grande partie de brindilles riche en fibres lors des prélèvements mais restent cohérents avec les résultats de Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2015b) pour la même espèce. La composition en métabolites secondaires présente des teneurs différentes ($P < 0,05$) en PPT (26,01-31,44 g EAT/kg MS) avec une prépondérance de la saison estivale. Nos résultats en PPT sont supérieurs à ceux déclarés par Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2015b) qui trouvent 18,92 g EAT/kg MS au printemps, et rapprochent de ceux de Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2018) en automne (22,6 g EAT/kg MS) et cela pour la même espèce. Les concentrations en TT sont statistiquement identiques ($p = 0,6106$) et concordent avec celles reportées par Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2015b) et Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2018) pour la même espèce. Par ailleurs, nos échantillons contiennent des teneurs très différentes ($p < 0,0001$) en TC avec un maximum de 3 g EAL/kg MS en automne. Des concentrations inférieures à 50 g EAL/Kg MS, car au-delà pouvant être toxique pour l'animal (Makkar 2003b), permettraient la formation de complexes entre les tannins condensés et les peptides les protégeant de la flore du rumen (Dey *et al.*, 2008, Makkar *et al.*, 2007). Ces complexes vont se désassocier au niveau des intestins, dégradés et absorbés au bénéfice de l'animal (Shah *et al.*, 2019) en réduisant les pertes azotées dans les urines (Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2014). Néanmoins, Novak *et al.* (2020) ont suggéré que cette valeur-seuil doit être considérée avec prudence car la relation structure-activité biologique est peu connue et un effet anti nutritionnel pourrait se manifester. Nos résultats pour les TC sont inférieurs à ceux indiqués par Emile *et al.* (2017) et Novak *et al.* (2020) en été (2 g/kg MS) pour *Fraxinus excelsior* et Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2015) au printemps (2,78 g EAL/kg MS) pour *Fraxinus angustifolia* mais comparables à celles obtenus par Mebirouk-Boudechiche *et al.* (2018) en automne (5,03 g EAL/kg MS) pour la même espèce.

Les substrats incubés montrent des volumes de gaz différents ($P < 0,01$) entre 49,35 et 62,71 ml/0,3g MS avec une supériorité de la saison printanière dont le substrat se caractérise par la meilleure fraction soluble ($a = 0,48$). La fermentation des substrats prélevés en été et en automne est tributaire d'une phase de latence indiquée par les valeurs négatives de la production de gaz à partir de la fraction soluble ($a = -0,98$ et $-1,45$). Cette phase de latence est imputée probablement au temps nécessaire pour la flore ruminale à s'adapter aux tanins (Smith *et al.*, 2005). En outre, l'estimation de la production de gaz à partir la fraction insoluble (b) des substrats montre une meilleure fermentescibilité de la fraction pariétale par le microbiote ruminal (Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015b). Par ailleurs, les substrats incubés affichent des vitesses de fermentation (c) considérables (0,08-0,09h⁻¹) dont la plus faible est détectée pour l'été ce qui semble être due aux tanins qui inhibent

les enzymes (Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015b).

La digestibilité de la matière organique est le paramètre le plus pertinent pour déterminer le potentiel nutritif des fourrages (Castro *et al.*, 2021). En effet, les substrats incubés montrent des taux de digestibilité importants allant de 58,43 en été à 72,39% au printemps. Ceci est imputable à la richesse en MAT ($r = 0,98$; $p < 0,001$), en parois cellulaires ($r = 0,78$; $p < 0,001$) et les teneurs très faibles en TC ($r = -0,18$; $p > 0,05$). Ce constat est confirmé par Emile *et al.* (2017) qui affirment que le frêne est plus dégradé que les témoins prairiaux. Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Emile *et al.* (2017) ; Novak *et al.* (2020) ; Bernard *et al.* (2020) et Ginane *et al.* (2018) pour *Fraxinus excelsior*. D'après Bernard *et al.* (2020) la digestibilité de frêne est comparable à la luzerne fourragère qui compte 63-67% selon INRA (2007). Ils ont constaté aussi que les feuilles de frêne contribuent à l'amélioration de niveau d'ingestion par 47% comparablement au foin. Pour ces raisons, ils ont proposé que le frêne constitue un aliment alternatif pour couvrir non seulement les besoins d'entretien mais aussi pour répondre aux besoins des animaux producteurs ou de faible capacité d'ingestion (brebis en gestation ou agneaux). De même, Bencherchali *et al.* (2019) ont noté lors d'une expérience menée sur des moutons que l'incorporation des feuilles de frêne a permis d'augmenter le niveau d'ingestion, la digestibilité et les gains de poids. Par ailleurs, les teneurs en EM dépendent totalement de la dMO (Paton, 2003) ce qui explique la corrélation positive entre eux ($r = 1$). L'EM fournie par les substrats incubés varie entre 8,04 et 9,89 MJ/ kg MS. Cette caractéristique leur qualifie d'être une excellente source d'énergie pour les ruminants à l'entretien (NRC, 1987).

La technique de production de gaz *in vitro* couplée avec l'ajout du PEG est considérée comme outil efficace pour déterminer l'activité biologique des tanins (Ammar *et al.*, 2004). Bouazza *et al.* (2020) suggèrent que le PEG s'attache aux tanins en empêchant leur liaison avec les constituants alimentaires et élimine leur effet sur la digestion. L'inactivation des tanins par le PEG augmente la disponibilité des nutriments en favorisant l'activité microbienne et la production de gaz (Makkar, 2003b). Nos résultats révèlent que l'ajout du PEG n'a aucun effet significatif sur la production totale de gaz pour les substrats incubés ($p = 0,4648$). Ceci est expliqué sans doute aux concentrations très faibles en TC. Néanmoins, l'ajout de PEG a amélioré significativement ($p = 0,0003$) la production de méthane avec des taux oscillant entre 15,03 et 100,18% en automne et en été respectivement. En général, l'augmentation de la production du méthane après l'ajout du PEG est la résultante de son effet bloquant sur les tanins. Melesse *et al.* (2019) et Rira *et al.* (2019) rapportent que les tanins jouent un rôle primordial dans l'atténuation des émissions de méthane. Cette augmentation semble imputable aux différentes réactions des tanins avec le PEG qui ne dépend seulement de leur concentration mais aussi à leur structure chimique (Makkar, 2007 ; Elahi, 2014), leur stéréochimie et leur degré de polymérisation (Schofield, 2001).

Conclusion

En se basant sur les résultats de cette étude, on peut conclure que *Fraxinus angustifolia* montre d'excellentes qualités nutritionnelles saisonnières se manifestant essentiellement à sa richesse en matière azotée totale, en parois cellulaire et aux faibles concentrations en facteurs anti nutritionnels ce qui lui qualifie d'être un fourrage de bonne qualité pour les ruminants. En outre, l'addition de PEG n'affecte pas la production de gaz ce qui confirme la faible activité biologique des tanins. Néanmoins, l'ajout de PEG a amélioré la production de méthane, ce qui nous donne un aperçu sur les capacités anti méthanogène que possède cette espèce. Il est vivement recommandé de conduire des projets de plantation et de valorisation de cette espèce afin de mieux tirer de leur avantage vis-à-vis des animaux d'élevage et de l'environnement.

Remerciements :

Les auteurs expriment leurs remerciements au personnel technique du Laboratoire des Ressources Sylvopastorales de l'Institut Sylvopastoral de Tabarka, Université de Jendouba, TUNISIE, pour leur soutien et assistance techniques lors de la réalisation des analyses.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelguerfi A. et Laouar M., 2000. Le frêne (*Fraxinus* spp.) et le Bétoum (*Pistacia atlantica*) : écologie et utilisation en algérie. In "Fodder Shrubs Development in Arid and Semi-Arid Zones". Eds G.Gintzburger, M.Bounejmate and A.Nefzaoui, ICARDA, aleppo, Syria. Vol II : 385-389.
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision (No. 12-03, p. 4). ESA Working paper.
- Ammar, H., López, S., González, J. S., & Ranilla, M. J. (2004). Chemical composition and *in vitro* digestibility of some Spanish browse plant species. *J. Sci. Food Agric*, 84(2), 197-204.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1990) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists.
- Bencherchali, M., Houmani, Z., & Houmani, M. (2019). Composition chimique et valeur alimentaire pour les ruminants du frêne oxyphyllé (*Fraxinus oxyphylla* Bieb.). *Livest. Res. Rural Dev*, 31(4).
- Bernard, M., Ginane, C., Deiss, V., Emile, J. C., & Novak, S. (2020). Voluntary intake and *in vivo* digestibility of leaves from two tree species: common ash (*Fraxinus excelsior*) and white mulberry (*Morus alba*). *Fourrages*, (242), 55-59.
- Bouazza, L., Boufennara, S., Bensaada, M., Zeraib, A., Rahal, K., Saro, C., ... & López, S. (2020). *In vitro* screening of Algerian steppe browse plants for digestibility, rumen fermentation profile and methane mitigation. *Agrofor Syst*, 94(4), 1433-1443.
- Bourbouze, A. (1982). L'élevage dans la montagne marocaine : organisation de l'espace et utilisation des parcours par les éleveurs du Haut Atlas (Doctoral dissertation).
- Bourbouze, A. (2005). Stratégies des éleveurs et politiques forestières dans les montagnes méditerranéennes : du conflit à la conciliation. *European association for animal production*, 115, 521.
- Castro, M., Teixeira, A., & Fernández-Núñez, E. (2021). The nutritive value of different Mediterranean browse species used as animal feeds under oak silvopastoral systems in Northern Portugal. *Agrofor Syst*, 95, 269-278.
- Chebli, Y., El Otmani, S., Chentouf, M., Hornick, J. L., & Cabaraux, J. F. (2021). Temporal variations in chemical composition, *in vitro* digestibility, and metabolizable energy of plant species browsed by goats in southern Mediterranean forest rangeland. *Animals*, 11(5), 1441.
- Dey, A., Dutta, N., Sharma, K., & Pattanaik, A. K. (2008). Effect of dietary inclusion of *Ficus infectoria* leaves as a protectant of proteins on the performance of lambs. *Small Rumin Res*, 75(2-3), 105-114.
- Djellal, F., Kadi, S. A., Madani, T., Abbas, K., Bannelier, C., & Gidenne, T. (2016, June). Nutritive value of fresh ash (*Fraxinus angustifolia*) leaves for growing rabbits. In 11th world rabbit congress (pp. 377-380).
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *biometrics*, 11(1), 1-42.
- Elahi, M. Y., Nia, M. M., Salem, A. Z., Mansouri, H., Olivares-Pérez, J., Cerrillo-Soto, M. A., & Kholif, A. E. (2014). Effect of polyethylene glycol on *in vitro* gas production kinetics of *Prosopis cineraria* leaves at different growth stages. *Ital J Anim Sci*, 13(2), 3175.
- Emile, J. C., Barre, P., Delagarde, R., Niderkorn, V., & Novak, S. (2017). Les arbres, une ressource fourragère au pâturage pour des bovins laitiers ?. *Fourrages*, (230), 155-160.
- Enri, S. R., Probo, M., Renna, M., Caro, E., Lussiana, C., Battaglini, L. M., ... & Lonati, M. (2020). Temporal variations in leaf traits, chemical composition and *in vitro* true digestibility of four temperate fodder tree species. *Anim Produc Sci*, 60(5), 643-658.
- EURL-T.A.D - CONSULT - Territoire. Aménagement. Développement. (2011). Plan Directeur de Gestion des Sites Ramsar du PNEK (Lac Tonga - Lac Oubeira - Lac Mellah - Lac Bleu - Lac Noir - Aulnaie Ain Khair). PHASE 2 EVALUATION ET INTERPRÉTATION DES DONNEES PARC NATIONAL D'EL-KALA. Aulnaie Ain Khair. 23p
- FAO. (2019). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2019. Aller plus loin dans la réduction des pertes et gaspillages de denrées alimentaires. Rome.
- Fievez, V., Babayemi, O. J., & Demeyer, D. (2005). Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. *Anim Feed Sci Technol*, 123, 197-210.
- Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1998). *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Anim Feed Sci Technol*, 72(3-4), 261-281.
- Ginane, C., Bernard, M., Deiss, V., Andueza, D., Emile, J. C., Novak, S., & Beral, C. (2018). Fodder trees as an alternative resource to feed ruminants: voluntary intake and *in vivo* digestibility of white mulberry (*Morus alba*) and common ash (*Fraxinus excelsior*) leaves in sheep. In 10. International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH10) (Vol. 9). *Cambridge University Press*.
- Harvey, C. A., Medina, A., Sánchez, D. M., Vilchez, S., Hernández, B., Saenz, J. C., ... & Sinclair, F. L. (2006). Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecol. Appl*, 16(5), 1986-1999.
- ISO (2009) Aliments des animaux. Dosage de l'azote et calcul de la teneur en protéines brutes – Partie 2 : Méthode de digestion en bloc et distillation à la vapeur. 5983-2.
- Kamalak, A. (2006). Determination of nutritive value of leaves of a native grown shrub, *Glycyrrhiza glabra* L. using *in vitro* and *in situ* measurements. *Small Rumin Res*, 64(3), 268-278.
- Karki, U., & Goodman, M. S. (2010). Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agrofor Syst*, 78, 159-168.
- Kökten, K., Kaplan, M., Hatipoğlu, R., Saruhan, V., & Çınar, S. (2012). Nutritive value of Mediterranean shrubs. *J Anim Plant Sci*, 22(1), 188-194.
- Laadjal, A., Chaker-Houd, K., Mebirouk-Boudechiche, L., Selmi, H., Dhifallah, A., & Rouissi, H. (2022). Nutrient potential of *Rubia peregrina* (L., 1753) for ruminants, by season, in a silvopastoral system in North-East Algeria. *Fourrages*, (252), 63-69.
- Luske, B., & van Eekeren, N. (2018). Nutritional potential of fodder trees on clay

- and sandy soils. *Agrofor Syst*, 92, 975-986.
- Mahieu, S., Emile, J. C., Barre, P., Delagarde, R., & Novak, S. (2019, May). Effect of species, season and management practice on the nutritive value of fodder tree leaves. In 4. World Congress on Agroforestry.
- Mahieu, S., Novak, S., Barre, P., Delagarde, R., Niderkorn, V., Gastal, F., & Emile, J. C. (2021). Diversity in the chemical composition and digestibility of leaves from fifty woody species in temperate areas. *Agrofor Syst*, 95, 1295-1308.
- Makkar, H. P. (2003a). Quantification of tannins in tree and shrub foliage: a laboratory manual. Springer Science & Business Media.
- Makkar, H. P. (2003b). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rumin Res*, 49(3), 241-256.
- Makkar, H. P. S., Francis, G., & Becker, K. (2007). Bioactivity of phytochemicals in some lesser-known plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems. *Animal*, 1(9), 1371-1391.
- Mebirouk-Boudechiche, L., Abidi, S., Cherif, M., & Bouzouraa, I. (2015b). Digestibilité *in vitro* et cinétique de fermentation des feuilles de cinq arbustes fourragers du nord est algérien. *Rev Med Vet*, 166, 11-12.
- Mebirouk-Boudechiche, L., Chaker-Houd, K., Boukhris, R., Abidi, S., & Cherif, M. (2018). Effect of polyethylene glycol on the *in vitro* gas production and fermentation parameters leaves of six fodder shrubs of northern Algeria. *Livest. Res. Rural Dev*, 30(2).
- Mebirouk-Boudechiche, L., Cherif, M., Abidi, S., & Bouzouraa, I. (2015a). Composition chimique et facteurs antinutritionnels de quelques feuilles de ligneux fourragers des zones humides du nord-est de l'Algérie. *Fourrages*, 224, 321-328.
- Melesse, A., Steingass, H., Schollenberger, M., Holstein, J., & Rodehutschord, M. (2019). Nutrient compositions and *in vitro* methane production profiles of leaves and whole pods of twelve tropical multipurpose tree species cultivated in Ethiopia. *Agrofor Syst*, 93, 135-147.
- Menke, Kh. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim Res Dev*, 28, 7-55.
- Nair, P. R. (2012). Climate change mitigation: a low-hanging fruit of agroforestry. *Agroforestry-the future of global land use*, 31-67.
- Ndondo, I. B., Wilhelmi, B. S., Mabinya, L. V., & Brand, J. M. (2004). Alpha-tocopherol and fatty acids of major browse plant species of black rhinoceros in the Great Fish River Reserve. *S. Afr. J. Wildl. Res*, 34(1), 87-93.
- Norton, BW (1995) The nutritive value of tree legumes. *Forage Legumes in Tropical Agriculture*, 178-191.
- Novak, S., Barre, P., Delagarde, R., Mahieu, S., Niderkorn, V., & Emile, J. C. (2020). Composition chimique et digestibilité *in vitro* des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. *Fourrages*, 242, 35-47.
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agric Sci*, 92(2), 499-503.
- Papanastasis, V. P., Yiakoulaki, M. D., Decandia, M., & Dini-Papanastasi, O. (2008). Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *Anim Feed Sci Technol*, 140(1-2), 1-17.
- Paton, D. (2003). Elaboration of a multi-variate model for the determination of the metabolizable energy of Mediterranean bushes based on chemical parameters. *J Arid Environ*, 53(2), 271-280.
- Porter, L. J., Hrstich, L. N., & Chan, B. G. (1985). The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry*, 25(1), 223-230.
- Rawnsley, R. P., Donaghy, D. J., Fulkerson, W. J., & Lane, P. A. (2002). Changes in the physiology and feed quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) during regrowth. *Grass Forage Sci*, 57(3), 203-211.
- Rira, M., Morgavi, D. P., Genestoux, L., Djibiri, S., Sekhri, I., & Doreau, M. (2019). Methanogenic potential of tropical feeds rich in hydrolyzable tannins. *J Anim Sci*, 97(7), 2700-2710.
- Salem, A. F. Z. (2005). Impact of season of harvest on *in vitro* gas production and dry matter degradability of *Acacia saligna* leaves with inoculum from three ruminant species. *Anim Feed Sci Technol*, 123, 67-79.
- Schofield, P., Mbugua, D. M., & Pell, A. N. (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Anim Feed Sci Technol*, 91(1-2), 21-40.
- Seidavi, A., Tavakoli, M., Rasouli, B., Corazzin, M., & Salem, A. Z. (2020). Application of some trees/shrubs in ruminant feeding: a review. *Agrofor Syst*, 94, 1353-1364.
- Shah, M. K., Tamang, B. B., Dhakal, B., Chaudhary, P., Shrestha, S., & Chhetri, N. (2019). Nutritive values of fodders at different seasons and altitudes in Gandaki River Basin of Nepal. *J Agric Nat Resour*, 2(1), 109-126.
- Smith, J., Pearce, B. D., & Wolfe, M. S. (2012). A European perspective for developing modern multifunctional agroforestry systems for sustainable intensification. *Renew Agric Food Syst*, 27(4), 323-332.
- Spears, J. W. (1994). Minerals in Forages. In: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp 281-317
- Thiebault, S. (2005). L'apport du fourrage d'arbre dans l'élevage depuis le Néolithique. *Anthropozoologica*. 40(1), 95-108.
- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. *Cornell university press*.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci*, 74(10), 3583-3597.
- Vandermeulen, S., Ramirez-Restrepo, C. A., Marche, C., Decruyenaere, V., Beckers, Y., & Bindelle, J. (2018). Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system. *Agrofor Syst*, 92, 705-716.
- Wielemans, A., Bernard, M., Macheboeuf, D., Gaillard, L., Serre, C., Cartailleur, J., ... & Ngao, J. (2020). Preliminary identification of trees that could serve as complementary forage for ruminant livestock under the climatic conditions predicted to occur in Auvergne in 2050. *Fourrages*, (242), 61-69.