

PÂTURAGE ESTIVAL DE MÛRIER BLANC (*MORUS ALBA*) PAR LES CHÈVRES LAITIÈRES : EFFETS SUR LES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES, LE LAIT ET LE FROMAGE

Mise en situation

L'arbre fourrager, comme le mûrier blanc, est une ressource qui peut être utilisée pour alimenter les chèvres, principalement en période de sécheresse estivale, mais qui soulève de nombreuses questions sur sa gestion et sa valorisation. Est-ce que les chèvres le consomment et le valorisent bien dans leur ration ? Quels sont les impacts de la consommation de mûrier blanc sur les performances zootechniques et sur la fromageabilité du lait de chèvre ?

Résumé

Face aux sécheresses estivales, de plus en plus fréquentes, les arbres fourragers apparaissent comme une solution permettant aux éleveurs d'offrir un fourrage vert à leurs animaux. L'effet de l'intégration de ces essences, et plus particulièrement du mûrier blanc, dans l'alimentation des chèvres laitières est peu connu. Deux essais, en 2021 et 2022, ont été conduits sur la ferme caprine du Pradel (07) pour déterminer l'impact du pâturage de mûrier blanc sur les performances zootechniques et sur les caractéristiques des laits et des fromages de chèvre. Chaque année, deux lots de 24 chèvres laitières ont été soit conduits sur un pâturage de mûrier blanc, soit nourries à l'intérieur avec une ration à base de foin de luzerne, avec la même complémentation en concentré (750 g/j). Le lait de chaque lot a été transformé séparément, soit par lot (2021), soit par sous-lot (2022), pour vérifier l'aptitude à la transformation fromagère jusqu'à la dégustation des Picodons AOP par des consommateurs naïfs (2021) ou un panel expert (2022). Les feuilles de mûrier ont eu une bonne valeur alimentaire et ont constitué environ les deux tiers de la ration fourragère du lot Mûrier (estimation grâce aux alcanes), avec un maintien de la production laitière entre les lots. Dans les deux essais, les taux butyreux et protéiques du lait ont été supérieurs sur le lot Mûrier. Par conséquent le rendement fromager au démoulage a été supérieur pour les fromages du lot Mûrier. Les dégustations des Picodons AOP entre 12 et 15 jours d'affinage n'ont montré aucune différence entre les fromages des deux lots. Le Picodon répond aux attentes des consommateurs et conserve toutes les caractéristiques de son AOP.

Summary

Summer grazing of white mulberry (*Morus alba*) by dairy goats: effects on animal performance, milk and cheese

In the face of increasingly frequent summer droughts, forage trees are emerging as a solution enabling farmers to provide green forage for their animals. Little is known about the effect of integrating these species, and more specifically the white mulberry, into the feed of dairy goats. Two trials, in 2021 and 2022, were conducted on the Pradel goat farm (France) to determine the impact of grazing white mulberry on performance and on the characteristics of goat's milk and cheese. Each year, two groups of 24 dairy goats were either grazed on a white mulberry field, or fed indoors on a lucerne hay-based diet, with the same concentrate supplementation (750 g/d). The milk from each group was processed separately, either by group (2021) or by sub-group (2022), in order to check its suitability for cheese processing, right up to the tasting of Picodons AOP by naive consumers (2021) or an expert panel (2022). Mulberry leaves had a good feed value and made up around two-thirds of the forages eaten in the Mulberry group (estimated using alkanes), with milk production maintained between groups. In the two trials, the milk fat and protein contents were greater in the Mulberry group, as the cheese production. Tasting of the Picodon PDO cheeses after 12 and 15 days maturing showed no difference between the two groups. Picodon meets consumer expectations and have all the characteristics of its PDO.

Auteurs

Boyer C.¹, Le Chenadec H.¹, Noël F.¹, Baron A.¹, Delagarde R.²

¹INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, 149 RUE DE BERCY, 75012 PARIS, FRANCE.

²PEGASE, INRAE INSTITUT AGRO, 16 LE CLOS, 35590 SAINT-GILLES, FRANCE.

Auteur correspondant

Claire BOYER, claire.boyer@idele.fr

Mots clés

Arbre fourrager, caprin, ingestion, alcanes, dégustation

Key words

Forage tree, caprine, intake, n-alkanes, tasting

Références de l'article

Boyer C., Le Chenadec H., Noël F., Baron A., Delagarde R.(2025). Pâturage estival de mûrier blanc (*Morus alba*) par les chèvres laitières : effets sur les performances zootechniques, le lait et le fromage - *Fourrages* 261, 117-130.

Article accepté pour publication le 27 mars 2025.

1. Introduction

Face aux sécheresses estivales de plus en plus fréquentes et intenses en lien avec le changement climatique, les arbres fourragers apparaissent comme une solution permettant aux éleveurs d'offrir un fourrage vert à leurs animaux en été (Madrid *et al.*, 2024). Pour les accompagner vers ces systèmes agroforestiers, il est nécessaire de poursuivre l'acquisition de références sur ces espèces fourragères afin d'en déterminer la productivité, la valeur nutritive, l'ingestion par les animaux, ainsi que leurs modes d'exploitation. Parmi ces espèces, le mûrier blanc (*Morus alba*) fait partie des essences d'arbres les plus intéressantes pour compléter l'alimentation des ruminants, notamment en raison de sa très bonne valeur nutritive avec des teneurs en matières azotées totales proches de 150 g/kg MS, et une très bonne digestibilité enzymatique (83%) (Emile *et al.*, 2017 ; Novak *et al.*, 2020).

L'intérêt des petits ruminants et notamment des caprins pour les ressources ligneuses est bien connu. Il soulève cependant de nombreuses questions concernant leur acceptabilité et leur ingestion par les animaux, ainsi que l'impact sur la production et la qualité du lait, qui sont des conditions essentielles à leur utilisation par les éleveurs, notamment fromagers. Des études récentes ont cependant montré que l'apport de feuilles de ligneux de bonne qualité, tels que le mûrier blanc ou le frêne, peut constituer une alternative aux fourrages tout en répondant aux besoins des animaux notamment en lactation (Emile *et al.*, 2017 ; Bernard *et al.*, 2020). Toutefois, il existe très peu de références permettant de comprendre les effets de l'apport de ligneux sur la qualité du lait, et ces études ont souvent été réalisées dans des conditions d'élevage, de rations et de climats très éloignés du contexte européen (Koushki *et al.*, 1994 ; Thi Mui *et al.*, 2002 ; Bhatta *et al.*, 2002 ; Tsiplakou et Zervas, 2008). Aucune étude n'a pu être trouvée concernant le lien entre pâturage de ligneux et qualité des fromages chez la chèvre laitière. Récemment, des enquêtes menées auprès des éleveurs caprins ont montré tout l'intérêt qu'ils portaient à ces ressources, avec de nombreux avantages cités comme la diversification de l'alimentation, la bonne valeur alimentaire des feuilles et leurs disponibilités en période de sécheresse. Mais ils ont aussi soulevé des inconvénients comme l'entretien des parcelles et la pérennité des arbres (Genevet et Boyer, 2023). Globalement, les avis divergent sur l'impact du pâturage des arbres sur la production laitière et sur l'aptitude du lait à la transformation fromagère. Ces craintes existent chez les éleveurs fromagers mais aussi au sein des filières sous signe de qualité officiel.

L'objectif de cette étude est d'apporter des réponses à la filière AOP Picodon pour le cas du mûrier blanc, en estimant notamment la part de mûrier ingéré au pâturage par les chèvres, et en mesurant les conséquences sur la production laitière, la composition du lait, sa fromageabilité et son acceptation par un panel de dégustateurs.

2. Matériel et Méthodes

2.1 Alimentation et production laitière des chèvres

L'étude a été réalisée deux années consécutives, en 2021 et en 2022, à la ferme expérimentale caprine du Pradel, située sur le domaine Olivier de Serres, à Mirabel en Ardèche (07). La ferme dispose d'une parcelle de 2 hectares de mûriers, de la variété Kokuso 21, plantés il y a presque 30 ans, et répartis tous les mètres avec des inter-rangs de 3 mètres (soit plus de 3000 plants/ha). Ils sont taillés pour environ 60 % de la surface en têtards (tête formée à 50 cm du sol), le reste étant en cépées (rejets à la base) pour permettre d'offrir des feuilles accessibles aux chèvres au pâturage. Les arbres sont valorisés au pâturage en été et à l'automne suivant les repousses.

Chaque année, l'essai a consisté à comparer deux lots différant par les fourrages disponibles dans la ration, à savoir une ration témoin (lot Bâtiment) correspondant à la ration habituelle du Pradel à cette période de l'année et une ration mûrier (lot Mûrier). Les essais ont duré 16 jours en 2021, du 13 au 28 juillet, et 12 jours en 2022, du 14 au 25 juillet. Les chèvres du lot Bâtiment ont eu uniquement accès, à l'auge, à du foin de luzerne à volonté comme fourrage pendant l'essai, avec un premier repas le matin après la sortie du lot Mûrier au pâturage et un second le soir, en même temps que le lot Mûrier. Les chèvres du lot Mûrier ont eu accès à la parcelle de mûriers entre la traite du matin et celle du soir (de 8 h à 15 h en moyenne, soit 7 h/jour) durant l'essai (Figure 1). La parcelle de mûrier a été découpée préalablement en 3 zones de tailles différentes afin d'optimiser le pâturage suivant la biomasse disponible et d'en faciliter la gestion. Le pâturage a débuté dans la première zone (0,6 ha), puis les zones 2 (0,3 ha) et 3 (1,1 ha) ont été données en complément, en agrandissant ainsi la zone accessible avec de nouveaux arbres à pâturer tous les 3 à 5 jours. Les chèvres avaient un accès permanent à un point d'abreuvement et à une zone ombragée car le pâturage s'est déroulé en juillet en période de fortes chaleurs. Le soir après la traite, les deux lots étaient regroupés en bâtiment dans le même lot physique et recevaient à l'auge le même foin de luzerne à volonté. Le foin de luzerne distribué était du foin de 1ère coupe en 2021 et de 3ème coupe en 2022. Les quantités de foin distribuées étaient réajustées quotidiennement selon le pourcentage de refus de la veille, avec un objectif fixé de 10 % en moyenne (quantité offerte du jour_n = quantité ingérée du jour_{n-1} / 0,90). Les refus de foin étaient enlevés et pesés tous les matins à 6h30. En complément, les deux années et pour chacun des lots, chaque chèvre a reçu individuellement 250 g/j d'un concentré commercial à 26 % de MAT et 500 g/j de grains de maïs entier. En 2021, 80 g/j de graines de tournesol ont été distribués aux chèvres avant l'essai du 14 juin au 7 juillet, et puis de nouveau dès la fin de l'essai.



Figure 1 : Les chèvres au pâturage dans la parcelle de mûriers
Figure 1: Goats grazing in the Mulberry paddock

Chaque essai a été réalisé sur 48 chèvres (dont 30 % de primipares), à 170 jours de lactation en moyenne. La semaine précédant chaque essai, les 48 chèvres ont été réparties en 2 lots les plus identiques possibles, sur la base de leurs caractéristiques mesurées lors d'une période de référence de 15 jours, durant laquelle toutes les chèvres étaient alimentées avec la même ration (même parcelle de pâturage et même foin en bâtiment). Les critères de mise en lots (Tableau 1) ont été la parité, le stade de lactation, la production laitière, le taux butyreux, le taux protéique, la teneur en urée du lait, le poids vif et

la note d'état corporel. Pour chaque essai, la première semaine expérimentale était dédiée à l'adaptation des chèvres au pâturage des mûriers, avant d'effectuer les mesures. Au total cinq contrôles laitiers individuels ont été réalisés en 2021 (jours 3, 8, 9, 15 et 16 après la première entrée des animaux dans la parcelle) et quatre en 2022 (jours 6, 7, 8 et 12 après la première entrée des animaux dans la parcelle) à l'aide des automates de mesure Lactocorder®.

2.2 Composition chimique et rendement des mûriers

En 2021 et 2022, les feuilles de mûriers ont été collectées la veille de la première entrée dans la parcelle des chèvres en différenciant les arbres taillés en têtard et en cépée. Les échantillons ont été passés en étuve ventilée 72 h à 60°C afin de déterminer leur teneur en matière sèche. La détermination de la composition chimique des feuilles de mûrier a été réalisée avec les méthodes d'analyse classiquement utilisées pour les fourrages herbacés. Les concentrations en fibres NDF, ADF, ADL (méthode Van Soest, 1967, avec un Fibersac de Ankom Technology, en MAT (méthode DUMAS avec un analyseur élémentaire Flash 2000 de ThermoFisher Scientific), et la DIGz (méthode Aufrère, 1982, adaptée pour l'utilisation de sachets avec le Daisy Incubateur d'ANKOM Technology) ont été mesurées au laboratoire d'analyse de INRAE-P3F à Lusignan (86). La productivité des mûriers a été mesurée en 2022 afin d'estimer la quantité de MS de feuilles présente sur la parcelle, notamment pour acquérir des références sur ces arbres (Thorey et Boyer, 2024).

Un prélèvement de feuilles de mûrier et de foin a également été envoyé au laboratoire Agrolab's d'Aurillac (15) pour déterminer la teneur en Matières Grasses (NF ISO 6492). Le foin de luzerne a été analysé en Infra-Rouge en 2021 au laboratoire CESAR (01) et en chimie en 2022 (MM, N total, NDF, ADF et ADL) au laboratoire de l'Institut de l'Elevage (14) selon les méthodes décrites par Charpentier et al. (2019).

Tableau 1 : Caractéristiques moyennes (avec écart type) des chèvres une semaine avant le début de chaque année d'essai

Table 1 : Mean goats characteristics (with standard deviation) one week before the start of each trial years

Année	2021		2022	
Modalité	Lot Mûrier	Lot Bâtiment	Lot Mûrier	Lot Bâtiment
Stade de lactation (jours)	168,3 ± 10,4	169,5 ± 11,9	171,1 ± 4,8	170,0 ± 6,8
Production laitière (kg/j)	3,12 ± 0,71	3,13 ± 0,71	3,65 ± 0,66	3,66 ± 0,72
Taux butyreux (g/kg de lait)	34,6 ± 3,48	34,7 ± 3,59	31,3 ± 3,83	31,3 ± 3,70
Taux Protéique (g/kg de lait)	31,1 ± 2,15	31,0 ± 1,93	30,9 ± 2,47	30,9 ± 2,28
Taux d'urée (mg/L)	419 ± 123	427 ± 123	475 ± 117	467 ± 103
Poids vif (kg)	56,6 ± 8,0	57,0 ± 7,3	60,1 ± 6,4	60,1 ± 7,0
Note Etat Corporel Lombaire	2,52 ± 0,14	2,48 ± 0,25	2,40 ± 0,19	2,39 ± 0,21
Note Etat Corporel Sternale	2,69 ± 0,28	2,70 ± 0,25	2,73 ± 0,24	2,72 ± 0,24

2.3 Estimation de la proportion de mûriers dans le régime

Les deux lots de 24 chèvres étant dans le même lot physique de 48 places, il n'a pas été possible de mesurer l'ingestion de foin de luzerne par traitement. En revanche, l'ingestion totale de foin des 48 chèvres a été mesurée chaque jour la semaine précédant l'essai et chaque jour de l'essai, permettant d'estimer la quantité de foin de luzerne ingéré du lot Mûrier pendant l'essai en faisant l'hypothèse que l'ingestion de foin du lot Bâtiment restait identique entre la période pré-expérimentale et la période expérimentale. Par ailleurs, de façon tout à fait indépendante, la proportion de mûrier dans la ration a été estimée à partir des profils en alcanes des fèces et le profil en alcanes des différents aliments ou composants de la ration proposés aux chèvres. Les alcanes sont des chaînes carbonées simples présentes naturellement et principalement dans la cuticule des plantes, les chaînes à nombre impair de carbone étant les plus représentées (C_{27} , C_{29} , C_{31} , C_{33} ; Mayes *et al.*, 1986). Cette méthode est précise si les profils en alcanes sont très différents entre les aliments de la ration, si l'échantillonnage de chaque aliment est bien représentatif de la fraction ingérée par les animaux, et si les taux de récupération des différents alcanes dans les fèces, issus de la littérature, et nécessaires aux calculs, sont proches de ceux rencontrés dans les conditions de l'étude, ce qui n'est pas vérifiable en pratique sans essai *in vivo* avec collecte totale des fèces (Ferreira *et al.*, 2005). En revanche, elle ne permet pas de mesurer l'ingestion quotidienne de mûrier, qui aurait nécessité la distribution bi-quotidienne d'un marqueur externe, le dotriacontane (C_{32}), au moins 7 jours avant le début des mesures (Mayes *et al.*, 1986).

Des échantillons de fèces ont été récoltés par groupe de 3 à 4 chèvres (2 groupes de primipares et 2 groupes de multipares, les plus homogènes possibles) dans des sachets séparés, et passés en étuve ventilée pendant 72 h à 60°C avant broyage pour la détermination de leur teneur en alcanes. Sur le lot Mûrier, les échantillons de fèces ont été prélevés sur chaque groupe de chèvres matin et soir à J-1, J4, J9 et J15 en année 1, et à J-2, J5, J8 et J12 en année 2, par rapport à la première entrée des animaux dans la parcelle (soit avant l'entrée dans la parcelle, au début, au milieu et en fin de pâturage, respectivement). La même procédure a été appliquée au lot Bâtiment, mais uniquement à J-1 et J15 en année 1, et à J-2 en année 2.

La veille de chaque prélèvement de fèces, des feuilles (limbes + pétioles) de mûriers ont été échantillonnées, à la hauteur à laquelle les chèvres pâturent les arbres. Les pétioles et les limbes des feuilles de mûrier ont été séparés, pesés en frais séparément puis passés en étuve ventilée 48 h à 60°C. Le foin de luzerne, le concentré et le maïs grain donnés aux chèvres ont également été prélevés avant chaque repas et passés à l'étuve pendant 48 h à 60°C en vue de la détermination de leur concentration en alcanes. En 2021 l'herbe présente dans la parcelle a aussi été échantillonnée, car pouvant

être pâturée par les chèvres. En 2022, en raison de la sécheresse estivale très marquée, il n'y avait pas d'herbe consommable par les chèvres (pas d'échantillonnage). La proportion de chacun des fourrages de la ration, par année, par jour de prélèvement et par groupe de chèvres a été estimée par optimisation mathématique en minimisant la somme des carrés des écarts entre les concentrations fécales observées des différents alcanes et la concentration théorique simulée à partir des profils en alcanes des différents aliments de la ration (Solveur de Excel®), en prenant en compte les taux de récupération fécale des différents alcanes mesurés chez la chèvre par Ferreira *et al.* (2005). En effet, mathématiquement, il n'y a qu'une combinaison optimale des différents aliments de la ration qui permet d'approcher le plus possible le profil en alcanes des fèces. Plusieurs optimisations ont été réalisées, soit en prenant les alcanes majeurs (C_{27} , C_{29} , C_{31} , C_{33}) un par un, soit en les combinant deux par deux, soit en les considérant tous simultanément. Chaque simulation donnant logiquement des résultats différents (mais relativement proches), la moyenne des simulations sera donnée dans les résultats.

2.4 Transformation fromagère et analyses sensorielles

Des suivis de fabrication précis et des analyses sur les laits et les fromages ont été réalisés pour chaque lot (2021) et par sous-lot (2022) après chaque période d'adaptation. Le choix a été fait la deuxième année de créer des sous-lots pour pouvoir valider statistiquement les résultats observés la première année. Chaque fabrication comportait le lait issu de deux traites, celui de la veille au soir (réfrigérée à 4°C) et celui du matin (non réfrigéré). Enfin, des dégustations ont été réalisées sur les fromages lactiques affinés entre 12 et 15 jours afin de vérifier s'ils conservent toutes leurs caractéristiques organoleptiques et répondent aux attentes d'un Picodon AOP.

Pour chaque fabrication de chaque essai (2021 et 2022), les suivis ont comporté la prise de pH en continu de l'emprésurage jusqu'au moulage (soit 24 h). Les fromages ont été pesés à chaque étape de la transformation du démoulage jusqu'à la fin d'affinage à 12 jours afin de suivre l'évolution des pertes de poids et de comparer les rendements entre les lots. Les teneurs en matière grasse, matière protéique, urée et les fractions azotées ont été analysés sur le lait, au laboratoire Agrolab's d'Aurillac (15). Les fromages au démoulage ont été analysés en matière grasse et matière sèche. Les fromages affinés ont été analysés en matière grasse, matière sèche et fractions azotées. En complément, et seulement en 2022, des tests rhéologiques et colorimétriques ont été effectués par INRAE de Theix (63) sur des fromages prélevés à 15 jours d'affinage et congelés. La rhéologie est une méthode de mesure de pénétration (Lerch *et al.* 2015), impliquant une aiguille de 2 mm de diamètre fixée à un capteur de force de 1 kN. Les moyennes des 5 à 6 points de mesure, répartis uniformément sur la surface de l'échantillon, ont été utilisées pour les analyses statistiques.

En 2021, 4 transformations fromagères successives séparées des deux lots ont été réalisées du 20 au 23 juillet, soit 8 à 11 jours après l'entrée des chèvres dans la parcelle de mûriers. La première fabrication, dite fabrication 0, a permis de déterminer le rendement fromager (kg de fromages pour 100 kg de lait) de chaque lot pour adapter au plus juste les fabrications suivantes avec le nombre de fromages à fabriquer dans l'objectif d'avoir des fromages de poids identiques (les Picodons devant peser 135 g au démoulage et 60 g minimum à 12 jours d'affinage). Les Picodons AOP issus de trois transformations suivantes ont été dégustés par des consommateurs initiés, selon la méthode du test triangulaire. Trois sessions (une par transformation fromagère) de 13 à 14 dégustateurs, différents à chaque session, ont ainsi eu lieu. Ces dégustations avaient pour objectif d'identifier si les consommateurs percevaient des différences entre les deux lots. Pour y répondre, des tests triangulaires ont été mis en place, en suivant la norme NF EN ISO 4120 (Afnor, 2007). Les 41 dégustateurs avaient à déguster 3 morceaux de Picodon AOP, ayant 12 à 15 jours d'affinage : 2 morceaux provenant d'un même lot et le dernier morceau issu du second lot. Ils devaient alors identifier le morceau qu'ils trouvaient différent parmi les 3 proposés. À chaque session, chaque participant a réalisé à 2 reprises cette dégustation, soit 6 morceaux de fromages en tout. Les ordres de présentation étaient différents entre les consommateurs. Ainsi, certains consommateurs dégustaient deux morceaux du lot Mûrier et un du lot Bâtiment, tandis que d'autres dégustaient un morceau du lot Mûrier et deux du lot Bâtiment. Les consommateurs devaient indiquer si la différence portait sur le goût et/ou sur la texture.

En 2022, chaque lot a été réparti en 3 sous-lots de 8 chèvres les plus homogènes possibles sur la base de la production laitière, du taux butyreux, du taux protéique et de la teneur en urée du lait. Au total, 6 fabrications fromagères ont été réalisées par jour (2 lots × 3 sous-lots) sur 3 jours consécutifs du 19 au 21 juillet, soit 18 fabrications entre 5 et 7 jours après l'entrée des chèvres dans la parcelle de mûriers. Comme en 2021, la fabrication du premier jour (dite 0), a permis de réajuster le rendement fromager en fonction de chaque sous-lot pour adapter au plus juste les fabrications suivantes. Les Picodons AOP issus des deux transformations suivantes ont été caractérisés selon un profil sensoriel classique (NF EN ISO 13299) pour décrire les propriétés organoleptiques. Les échantillons ont été dégustés par un panel de 13 juges experts, formés et entraînés (NF EN ISO 8586-2 ; Afnor, 2008), au laboratoire de l'Institut de l'Élevage à Villers-Bocage (14). Deux dégustations de fromages ayant 15 jours d'affinage ont été organisées. Les juges devaient évaluer chaque fromage en fonction d'une grille comprenant 28 descripteurs, notés de 0 à 10 avec des critères sur l'aspect, l'odeur, la texture et le goût des fromages. Au cours d'une séance de notation, les fromages d'un sous-lot étaient dégustés par 4 juges, chaque juge évaluant deux fromages différents d'un même sous-lot, soit 4 échantillons en tout.

Les étapes de l'étude menée et la différence entre les deux années d'essais sont présentées en Figure 2.

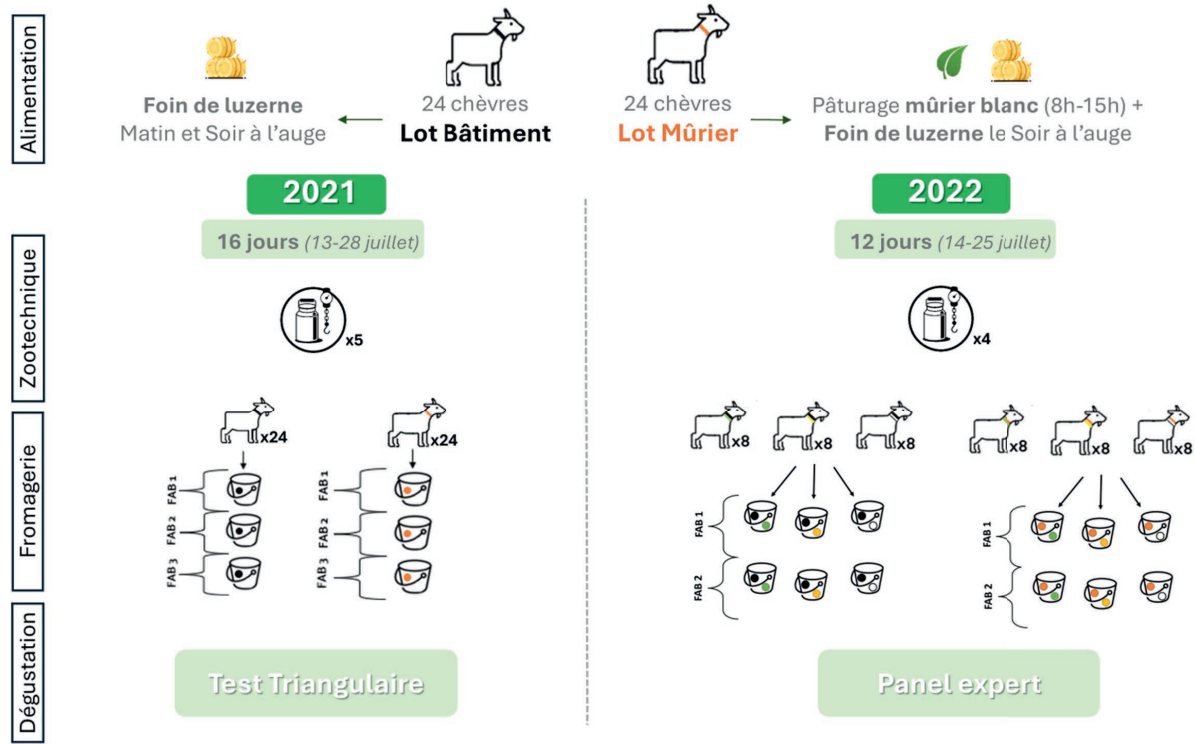


Figure 2 : Déroulé de l'expérimentation en 2021 et 2022

Figure 2 : Organisation of the trial in 2021 and 2022

2.5 Analyses statistiques

Ces essais ont été analysés selon trois approches distinctes sur la base de modèles mixtes d'analyse de variance sous R via le package lmerTest, afin de tester l'effet du traitement (Mûrier vs Bâtiment).

La première analyse, portant sur les performances zootechniques, et seulement celles-ci, correspond à un modèle sur mesures longitudinales qui inclut l'effet du traitement (Mûrier, Bâtiment), de la parité (facteur fixe), de la date (effet fixe) et de l'individu (effet aléatoire). La deuxième, axée sur la fabrication fromagère de l'essai 2022, inclut l'effet du traitement (Mûrier, Bâtiment), de la fabrication (facteur fixe) et du sous-lot (effet aléatoire). Enfin, la troisième, liée à l'évaluation sensorielle des propriétés organoleptiques de l'essai 2022, intègre l'effet du traitement (Mûrier, Bâtiment), de la séance (facteur fixe), du juge (effet fixe) ainsi que du sous-lot (effet aléatoire) et de l'échantillon de fromage (effet aléatoire). Les tests triangulaires de l'essai 2021 ont été analysés quant à eux via une comparaison du nombre de réponses correctes à la valeur de référence obtenue dans la table de la loi binomiale pour une probabilité de 1/3 (test unilatéral).

Les résultats présentés dans les tableaux suivants sont les moyennes ajustées (méthode REML) par traitement (Mûrier vs Bâtiment) issues de ces analyses.

3. Résultats

3.1 Productivité et composition chimique du mûrier

En juillet 2022, sur la première pousse de l'année la biomasse moyenne de feuilles de mûrier calculée à l'échelle de la parcelle atteint 1,1 T MS/ha. La parcelle étant cependant assez hétérogène sur le plan du développement végétatif des arbres. Le rendement était de l'ordre de 3,4 T MS/ha sur les arbres les plus productifs.

Tableau 2 : Composition en infra-rouge et chimique (en g/kg MS) moyenne des feuilles de mûrier et du foin de luzerne pour les deux années d'essai MS : Matière Sèche ; MAT : Matières Azotées Totales ; MM : Matières Minérales ; NDF : Neutral Detergent Fibre ; ADF : Acid Detergent Fibre ; ADL : Acid Detergent Lignin ; MG : Matières Grasses.

Table 2 : Infrared and chemical composition (in g/kg DM) of mulberry leaves and lucerne hay to the two trial years

Année	Échantillon	MS (en %)	MAT (en g/kg MS)	MM (en g/kg MS)	NDF (en g/kg MS)	ADF (en g/kg MS)	ADL (en g/kg MS)	Digestibilité		MG (en g/kg MS)
								Matière Organique (en %)	Enzymatique in vitro (en %)	
2021 ^b	Feuilles de Mûrier	29,4	138	130	301	115	26		93,2	25
2022 ^b		33,0	139	159	296	130	34		88,9	57
2021 ^a	Foin de Luzerne	90,0	119	77	449	283	61	55,2		16
2022 ^b		90,0	159	90				61,0		14

^aComposition en Infra-rouge ; ^bComposition en Chimique

Les analyses chimiques réalisées montrent, pour les deux années, une très bonne valeur nutritive des feuilles de mûrier, avec une teneur en MS proche de 300 g/kg brut, une teneur en MAT proche de 140 g/kg MS, une teneur en NDF proche de 300 g/kg MS, et une digestibilité enzymatique proche de 90 % (Tableau 2). La teneur en matières grasses des feuilles de mûrier était de 40 g/kg MS en moyenne sur les deux années contre 15 g/kg MS pour le foin. En 2021, le foin de luzerne (1ère coupe) distribué était de qualité moyenne, avec 12 % de MAT et 55 % de digestibilité. En 2022, le foin de luzerne (3ème coupe) distribué était de meilleure qualité, avec 16 % de MAT et 60 % de digestibilité (Tableau 2).

3.2 Ingestion, production et composition du lait

La production laitière brute a été plus élevée sur le lot Mûrier que sur le lot Bâtiment en 2021 (+ 0,31 kg/jour, P<0,001), et n'a pas varié entre les lots en 2022 (Tableau 3). Il y a eu une forte augmentation des taux butyreux et protéique du lait lorsque les chèvres ont pâturé les mûriers, avec + 9,2 et + 9,5 g/kg de lait pour le taux butyreux (P<0,001) et + 2,1 et + 1,5 g/kg de lait pour le taux protéique (P<0,001), en 2021 et 2022, respectivement (Tableau 3). Les deux années, le taux d'urée dans le lait a été plus faible sur le lot Mûrier que sur le lot Bâtiment (- 140 à 150 mg/L, P<0,001).

L'évolution de l'ingestion journalière de foin de luzerne des 48 chèvres à l'auge (lot Bâtiment et lot Mûrier mélangés) nous a permis d'estimer l'ingestion de foin de luzerne du lot Mûrier pendant la période de pâturage. En 2021, durant les 3 jours précédents la période de pâturage, les 48 chèvres ont ingéré en moyenne 120 kg MS de foin par jour, et exactement la même quantité durant les 7 jours qui ont suivi la période de pâturage (soit 2,5 kg MS/chèvre/jour). Durant les 16 jours de pâturage, les 48 chèvres n'ont ingéré au total que 76 kg MS/jour.

Tableau 3 : Effets du pâturage de mûrier sur la production et la composition du lait sur les deux années d'essai (en moyenne ajustée sur 5 contrôles laitiers en 2021 et 4 en 2022)

Table 3: Effects of mulberry grazing on milk production and composition over the two trial years (adjusted mean for all milk controls)

Année	2021				2022			
Modalité	Lot Mûrier	Lot Bâtiment	ETR	pvalue	Lot Mûrier	Lot Bâtiment	ETR	pvalue
Production laitière (kg/j)	3,12	2,81	0,22	<.0001	3,3	3,35	0,26	0,6107
Taux butyreux (g/kg de lait)	39,3	30,1	2,24	<.0001	39,5	30	2,95	<.0001
Taux Protéique (g/kg de lait)	32,5	30,4	0,53	<.0001	32,1	30,6	0,39	<.0001
Taux d'urée (mg/L)	310	451	26,68	<.0001	300	451	25,80	<.0001

ETR = écart-type résiduel du modèle d'analyse

En prenant pour hypothèse, ce qui est très probable, que les chèvres du lot Bâtiment n'ont pas modifié leur ingestion de foin pendant la période de pâturage (24 chèvres × 2,5 kg MS = 60 kg MS), il est possible d'estimer que les 24 chèvres du lot Mûrier auraient ingéré la différence, soit 16 kg MS/jour de foin, ce qui représente 0,65 kg MS de foin de luzerne par chèvre et par jour (25 % de la quantité ingérée initiale). En 2022, en reprenant la même méthode de calcul, les chèvres du lot Mûrier auraient ingéré environ 0,79 kg de MS de foin de luzerne par jour pendant l'essai, soit 28% de la quantité ingérée initiale (2,8 kg MS/jour).

Les profils en alcanes, et encore plus les rapports de concentrations entre alcanes pour les principaux alcanes impairs (C_{27} à C_{33}), ont largement différé entre aliments disponibles pour les chèvres, et notamment entre les deux fourrages principaux offerts, le foin de luzerne et les limbes de mûriers (Tableau 4). À titre d'exemple, et pour les deux années, la concentration en C_{27} a été 2 à 3 fois plus faible, et la concentration en C_{33} a été 8 à 9 fois plus élevée dans les limbes de mûrier que dans le foin de luzerne. Les rapports de concentrations entre alcanes sont encore plus discriminants entre aliments, avec, par exemple, un rapport C_{33}/C_{27} beaucoup plus élevé (25,0 et 14,9 fois plus élevé en 2021 et 2022, respectivement), et un rapport C_{29}/C_{33} beaucoup plus faible (21,0 et 9,7 fois plus faible en 2021 et 2022, respectivement), dans les limbes de mûrier que dans le foin de luzerne (Tableau 4).

Les profils de teneurs en alcanes des fèces et les rapports de concentration entre alcanes dans les fèces ont été logiquement très proches entre les lots Bâtiment et Mûrier avant l'entrée des chèvres dans la parcelle (Tableau 4). En revanche, dès que les chèvres du lot Mûrier ont commencé le pâturage, les profils en alcanes ont été complètement modifiés, avec des profils relativement stables sur l'ensemble du temps de séjour des chèvres sur la parcelle, avec également une faible variabilité des profils entre groupes de chèvres au sein du lot, comparativement à la très forte variation des profils en alcanes entre avant et pendant la période de pâturage (Figure 3). Une fois au pâturage, ces profils (concentrations et rapport des concentrations) ont été intermédiaires entre les profils du foin et des feuilles de mûrier, mais beaucoup plus proches des profils du mûrier que du foin (Tableau 4).

Tableau 4 : Concentrations moyennes, et rapports de concentrations, des principaux alcanes dans les aliments et les fèces de chèvres laitières nourries à base de foin de luzerne et pâturant 8 h par jour (lot Mûrier) ou ne pâturant pas (lot Bâtiment) une parcelle de mûriers pendant 16 jours (année 2021) ou 12 jours (année 2022).

Tableau 4 : Mean concentrations, and ratio of concentrations, of main n-alkanes in feeds and faeces of dairy goats fed a lucerne hay-based diet and grazing 8 h per day (group Mûrier) or not grazing (group Bâtiment) a mulberry paddock during 16 days (year 2021) or 12 days (year 2022).

Année	Variable	Jours pâturage	C27	C29	C31	C33	C31/C27	C33/C27	C31/C33	C29/C33
2021	Concentrés [*]	moy	2	5	5	1	2.1	0.67	3.7	3.7
	Foin	moy	36	201	331	19	9.3	0.54	17.4	10.5
	Limbes de mûrier	moy	11	74	310	152	27.6	13.5	2.0	0.5
	Pétioles de mûrier	moy	10	385	689	102	76.5	13.4	6.3	3.3
	Limbes mûrier/foin	moy	0.31	0.37	0.94	7.97	3.0	25.3	0.12	0.05
	Herbe	moy	14	94	308	38	20.6	2.7	8.5	2.6
	Fèces lot Bâtiment	J-1	99	542	807	51	8.1	0.5	15.9	10.7
	Fèces lot Bâtiment	J15	61	372	537	35	8.7	0.6	14.9	10.3
2021	Fèces lot Mûrier	J-1	92	505	757	46	8.2	0.5	16.3	10.9
	Fèces lot Mûrier	J4	39	245	612	227	15.5	5.8	2.7	1.1
	Fèces lot Mûrier	J9	40	291	961	257	24.1	6.5	3.7	1.1
	Fèces lot Mûrier	J15	31	229	524	181	17.0	5.9	2.9	1.3
	Concentrés ^a	moy	1	3	3	1	2.3	0.8	3.5	3.2
	Foin	moy	26	146	366	26	14.5	1.0	14.4	5.8
2022	Limbes de mûrier	moy	16	133	512	241	31.6	14.9	2.2	0.6
	Pétioles de mûrier	moy	16	723	1332	178	84.0	11.4	7.6	4.2
	Limbes mûrier/foin	moy	0.63	0.91	1.40	9.44	2.2	14.5	0.15	0.10
	Fèces lot Bâtiment	J-2	41	268	869	66	21.4	1.6	13.3	4.1
	Fèces lot Mûrier	J-2	40	265	830	62	20.7	1.6	13.3	4.2
2022	Fèces lot Mûrier	J5	30	199	745	276	24.6	9.1	2.7	0.7
	Fèces lot Mûrier	J8	35	262	953	320	27.0	9.1	3.0	0.8
	Fèces lot Mûrier	J12	40	338	1090	347	27.3	8.7	3.1	1.0

^{*}Moyenne des deux concentrés, de composition en alcanes très proches.

Les simulations réalisées à partir du profil en alcanes des fèces montrent que les chèvres auraient ingéré en 2021 en moyenne 70 % de mûrier (dans la ration fourragère), dont 92 % de limbes et 8 % de pétioles. En 2022, les chèvres auraient ingéré en moyenne 63 % de mûrier (dans la ration fourragère), dont 97 % de limbes et 3 % de pétioles (Tableau 5).

Transformation fromagère jusqu'à la dégustation des Picodons

Les profils d'acidification entre le lot Bâtiment et le lot Mûrier ont été similaires (Figure 4), pour les deux années d'essai, en passant d'un pH de 6,6 à 4,4 en 21 h (de l'emprésurage J0 jusqu'au moulage J1). En 2021, le lait du lot Murier a eu un pH initial plus élevé que le lot Bâtiment, écart qui persiste jusqu'en fin d'acidification. Cet écart de pH n'est pas confirmé en 2022.

Conformément à l'augmentation des taux butyreux et protéique du lait, les rendements au démoulage (J2), en sortie de séchoir (J4) et en sortie de haloir (J12) ont été supérieurs dans le lot Mûrier

par rapport au lot Bâtiment (Tableau 6). Cette différence a été plus élevée en 2021, avec 2,1 kg de rendement supplémentaire au démoulage, alors qu'en 2022, on note 0,89 kg supplémentaire (P=0,0265). Sur 100 kg de lait transformés, avec un objectif de poids de 135 g au démoulage, le lot Mûrier a pu produire plus de fromages que le lot Bâtiment (+ 15 en 2021 et + 6 en 2022).

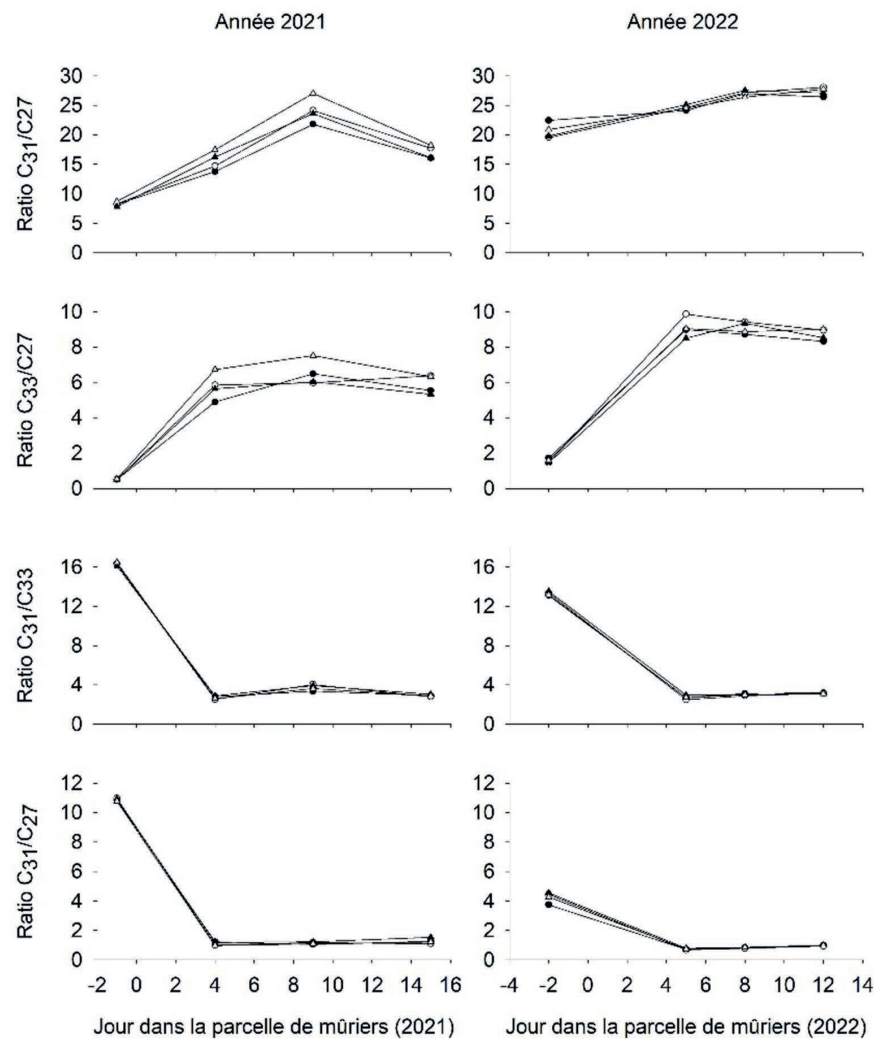


Figure 3 : Évolution des rapports de concentration en alcanes dans les fèces de chèvres laitières nourries à base de foin de luzerne et pâturant une parcelle de mûriers environ 8 h par jour pendant 16 jours (année 2021) ou 12 jours (année 2022). Les 4 courbes représentent 4 groupes de 4 chèvres au sein du troupeau (un point = moyenne d'un groupe de 4 chèvres)

Figure 3 : Evolution of the ratio between faecal n-alkanes concentration in dairy goats fed on a lucerne-based diet and grazing a mulberry paddock 8 hours per day during 16 days (year 2021) or 12 days (year 2022). The 4 curves represent 4 groups of 4 goats within the herd (one datapoint = mean of a group of 4 goats)

Tableau 5 : Proportions simulées, à partir des profils en alcanes des aliments et des fèces, des différents aliments dans le régime alimentaire des chèvres laitières nourries à base de foin de luzerne et pâturant 8 h par jour une parcelle de mûriers pendant 16 jours (année 2021) ou 12 jours (année 2022).

Tableau 5 : Simulated proportions, from n-alkanes profile of feeds and faeces, of the different feeds in the diet of dairy goats fed a lucerne hay-based diet and grazing 8 h per day a mulberry paddock during 16 days (year 2021) or 12 days (year 2022).

Année	Jour de pâturage ^a	Proportion simulée dans le régime alimentaire					Total
		Foin	Herbe pâturée	Mûrier limbes	Mûrier pétioles	Mûrier total	
2021	J-1	1.00	0	0	0	0	1.00
	J4	0.34	0	0.66	0	0.66	1.00
	J9	0.30	0.12	0.58	0	0.58	1.00
	J15	0.42	0	0.55	0.03	0.58	1.00
2022	J-2	0.98	-	0	0.02	0.02	1.00
	J5	0.33	-	0.67	0	0.67	1.00
	J8	0.26	-	0.67	0.08	0.74	1.00
	J12	0.41	-	0.59	0	0.59	1.00

^a : par rapport à la date d'entrée dans la parcelle de mûriers

Le lait du lot Mûrier était plus riche en matière sèche avec + 1,12 g/100 g de lait en 2021 et + 1,03 g/100g de lait en 2022 (P=0,0002), et avait un rapport matière grasse sur matière protéique plus élevé (Tableau 6). En effet, le lot Bâtiment était en inversion de taux durant l'essai soit un rapport inférieur à 1 tandis que le lot Mûrier était largement au-dessus vu son taux butyreux avec un rapport de 1,14 en 2021 et 1,22 en 2022. Cette composition s'est retrouvée dans les fromages au démoulage, avec un rapport gras sur sec également plus élevé, avec + 3,8 % en 2021 et + 5,9 % en 2022 (P=0,0093). Ces résultats se sont maintenus sur les fromages affinés, avec + 3,2 % en 2021 et + 6,8 % en 2022 (P=0,0001) (Tableau 6).

Concernant les fractions azotées du lait et les protéolyses des fromages affinés, peu de différences ressortent en 2021 et aucun

des indicateurs n'est significatif en 2022. (Tableau 9 en annexe). Les tests rhéologiques ont mis en évidence que les fromages issus du lot Mûrier ont été légèrement moins durs que ceux du lot Bâtiment, la contrainte exercée pour déformer le fromage étant inférieure de plus de 10 points pour l'ensemble des contraintes mesurées de 10 à 90 % (Figure 5 en annexe). Aucune différence concernant la couleur de la croûte, ni de la pâte des fromages n'a été observée entre les lots, les courbes de réflectance suivent la même trajectoire (Figure 6 en annexe).

En 2021, lors des tests triangulaires réalisés par un panel de consommateurs, les fromages issus des deux lots ne sont pas ressortis comme étant différents. La grande majorité des participants n'a pas identifié le morceau de fromage qui était différent sur les 3 dégustés, et ce pour chacune des 3 fabrications.

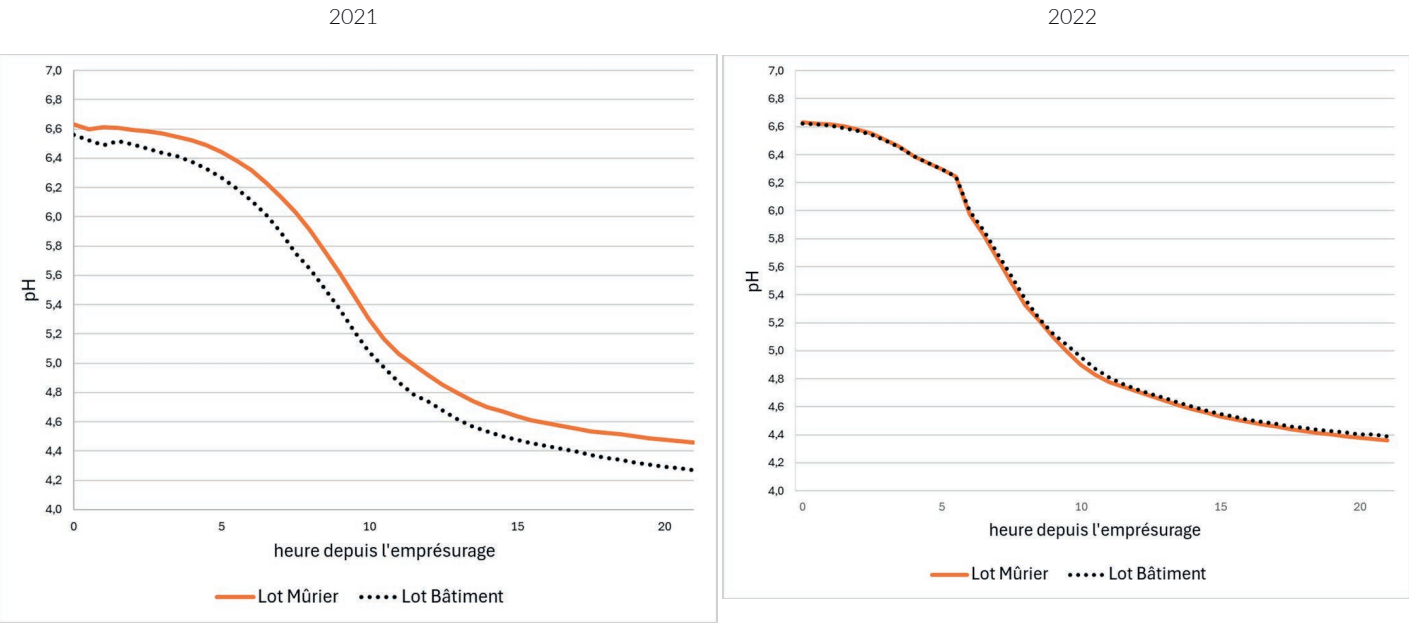


Figure 4 : Profils des courbes de pH des fabrications fromagères sur les deux années d'essai

Figure 4 : Profiles of pH curves for cheese processing in the two trial years

Tableau 6 : Effets du pâturage de mûrier sur le rendement fromager, sur la composition du lait et des fromages Picodon sur l'ensemble des fabrications sur les deux années d'essai

Table 6: Effects of mulberry grazing on cheese yield, on milk and Picodon cheese composition, in the two trial years

	2021		2022			
	Lot Bâtiment	Lot Mûrier	Lot Bâtiment	Lot Mûrier	ETR	pvalue
Rendement au démoulage (kg/100 kg de lait)	19,99	22,06	20,22	21,11	0,30	0,0265
Rendement sortie séchoir (kg/100 kg de lait)	11,74	13,08	9,65	10,70	0,22	<0,001
Rendement sortie hâloir (kg/100 kg de lait)	10,18	11,53	8,65	9,62	0,21	<0,001
Matière sèche du lait (g/100 g)	11,22	12,34	11,18	12,21	0,13	0,0002
Rapport TB/TP	0,99	1,14	0,96	1,22	0,02	<.0001
Gras sur sec - fromage au démoulage (%)	44,97	48,76	46,05	51,94	1,83	0,0093
Gras sur sec - fromage affiné (%)	47,18	50,43	47,07	53,86	1,51	0,0001

ETR = écart-type résiduel du modèle d'analyse

La différence entre les deux lots n'ayant pas été mise en évidence (Tableau 7), la suite des questions portant sur une précision de la nature de cette éventuelle différence, goût et/ou texture, n'a pas été prise en compte et n'a donc pas été traitée d'un point de vue statistique. En 2022, sur l'ensemble des notations réalisées sur les fromages par le panel expert les écarts ont été minimes (< 0,3 point en moyenne), et il n'y a pas de différences significatives entre les deux lots pour tous les descripteurs (Tableau 8).

Tableau 7 : Effets du pâturage de mûrier sur les propriétés organoleptiques des fromages Picodon de l'année 2021, évaluées par un panel consommateurs, via un test triangulaire

Table 7 : Effects of mulberry grazing on organoleptic proprieties of Picodon cheese from year 2021, evaluated by consumer panel, with a triangle test.

	Nombre de réponses totales	Nombre de bonnes réponses	pvalue
Fabrication 1	26	9	0,161
Fabrication 2	28	6	0,069
Fabrication 3	28	9	0,158

Tableau 8 : Effets du pâturage de mûrier sur les propriétés organoleptiques des fromages Picodon de l'année 2022, évaluées par un panel expert

Table 8 : Effects of mulberry grazing on organoleptic properties of Picodon cheese from year 2022, evaluated by expert panel.

Descripteurs		Lot Bâtiment		Lot Mûrier		ETR	pvalue
		Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type		
Aspect	Couleur de la croûte	3,86	1,81	3,66	1,72	0,94	0,5038
	Présence de tâches sur la croûte	0,91	1,53	1,16	1,82	0,85	0,4425
	Croûte fleurie	2,15	1,92	2,23	2,10	0,20	0,9457
	Croûte striée	6,13	1,68	5,83	1,87	0,14	0,4023
	Couleur de la sous-croûte	4,40	1,60	3,82	1,87	1	0,1770
	Coulant de la sous-croûte	1,67	1,96	1,56	2,00	0,94	0,6172
	Couleur du cœur	2,03	1,59	1,99	1,72	0,09	0,5378
	Cœur compact	7,26	1,48	7,30	1,18	0,88	0,9071
	Cœur sec	2,45	1,96	2,89	2,09	1,22	0,2594
Texture au couteau	Fermeté au couteau	7,10	1,42	6,41	1,39	0,97	0,1819
	Friabilité au couteau	2,27	1,59	2,07	1,64	1,05	0,4614
	Collant au couteau	0,83	1,25	1,10	1,61	0,18	0,5004
Odeur	Odeur chèvre	5,49	1,76	5,37	1,72	1,27	0,7717
	Odeur champignon	1,09	1,35	1,17	1,56	0,16	0,9308
	Odeur lait frais	2,83	1,74	2,70	1,89	1,08	0,6321
Goût	Intensité du goût	5,83	1,68	5,74	1,75	1,28	0,7767
	Acide	2,82	2,22	2,51	2,02	0,84	0,2100
	Amer	0,82	1,59	0,92	1,75	-	
	Salé	4,60	1,70	4,64	1,60	1,08	0,8873
	Arôme chèvre	5,67	1,52	5,53	1,62	1,12	0,7822
	Arôme champignon	0,74	1,15	0,99	1,36	0,14	0,4583
	Arrière-goût piquant	1,74	1,76	2,01	1,78	1,06	0,5758
	Persistance aromatique	5,44	1,72	5,75	1,57	1,22	0,3305
Texture en bouche	Fermeté en bouche	6,13	1,64	5,50	1,77	0,99	0,1055
	Collant en bouche	4,56	2,19	4,40	2,05	1	0,6545
	Granuleux	2,46	1,90	2,38	1,83	0,97	0,7229
	Crémeux	3,50	2,13	3,78	2,10	0,79	0,3413

ETR = écart-type résiduel du modèle d'analyse

4. Discussion

4.1 Le mûrier, une ressource de bonne valeur alimentaire et appétente pour les chèvres

Le rendement moyen que nous avons observé peut paraître faible par rapport à une parcelle de luzerne ou de prairie multi-espèces, mais les mûriers permettent de sortir les animaux au pâturage l'été et de leur faire consommer du vert quand les prairies ne poussent plus suite à la sécheresse. La durée de pâturage permise est évidemment plus ou moins longue suivant le nombre d'animaux présents et la productivité de la parcelle (vigueur des arbres hétérogène). La parcelle est taillée chaque année en hiver, pour stimuler la nouvelle pousse de l'année et ainsi optimiser la production de biomasse foliaire offerte. Ainsi, pour le cas de la ferme du Pradel, un lot de 48 chèvres peut pâturer environ une dizaine de jours courant juillet sur cette parcelle de 2 ha. Une nouvelle repousse se fait sur l'automne et permet un nouveau passage des chèvres, mais avec une biomasse produite plus faible (non mesurée dans cette étude). Par ailleurs, des rendements plus élevés de l'ordre de 4 T de MS/ha ont été observés en Ariège, sur des jeunes mûriers plantés très denses (Moulin *et al.*, 2021).

La bonne composition chimique du mûrier blanc que nous avons observée est tout à fait cohérente avec des travaux antérieurs (Emile *et al.*, 2017; Novak *et al.* 2020). En fin de saison, et en année chaude, les feuilles de mûrier peuvent avoir des valeurs plus faibles, en protéines et en énergie, avec une DMO *in vivo* de 68% (Bernard *et al.*, 2020). En raison de l'absence de distribution d'alcanes externe (C32, Mayes *et al.*, 1986), nous n'avons pas pu mesurer la quantité ingérée de mûrier. Si les méthodes utilisées ne permettent donc pas d'avancer un chiffre d'ingestion totale ou d'ingestion de mûrier pour le lot Mûrier, la synthèse des deux approches (hypothèse sur le foin ingéré en bâtiment, et proportion de mûrier dans la ration estimée à partir des alcanes) suggère que les chèvres auraient ingéré entre 1,3 et 1,9 kg MS/jour de mûrier en moyenne pendant leur présence au pâturage. Il est ici impossible d'être plus précis. Les observations visuelles (comportement non enregistré) ont montré que les chèvres pâturaient le mûrier essentiellement le matin, notamment pour éviter les fortes chaleurs de l'après-midi. Ces simulations montrent en tout cas que les chèvres ont ingéré au minimum deux fois plus de mûrier que de foin, en seulement 4-5 h le matin (7 h d'accès par jour à la parcelle), alors que le foin de luzerne était offert à volonté toute la nuit. Ce résultat montre bien la forte appétence des chèvres pour le mûrier. Ce pâturage a permis de réduire drastiquement l'ingestion de foin, avec 1,8 et 2,0 kg MS de foin économisé par chèvre et par jour durant la période de pâturage en 2021 et 2022, respectivement. Même à un stade avancé, l'ingestibilité des feuilles de mûrier à l'âge par des moutons à l'entretien est restée très élevée (2,2 kg MS/jour, soit 3,5% du poids vif) (Bernard *et al.*, 2020).

4.2 Une production laitière maintenue avec une qualité du lait nettement améliorée

Le maintien ou l'augmentation de la production laitière lorsque les chèvres ont pâturé le mûrier montre clairement que les apports énergétiques et/ou protéiques, non calculables dans cet essai, n'ont sans doute pas été réduits par rapport au lot Bâtiment. S'il n'est pas possible de savoir dans cette étude si les chèvres du lot Mûrier ont ingéré moins, autant ou plus de fourrages totaux (foin + mûrier) que les chèvres du lot Bâtiment, il est clair que la très bonne valeur nutritive du mûrier a participé à ce maintien des performances, sans que l'on puisse dire qui de l'ingestion ou de l'augmentation de valeur de la ration a le plus permis ce résultat. Le fait que la production laitière ait augmenté sur le lot Mûrier en 2021 et pas en 2022 peut être imputé à la moins bonne qualité du foin de luzerne en 2021 qu'en 2022. Le mûrier étant *a priori* toujours plus digestible que le foin de luzerne (très faible teneur en fibres, meilleure digestibilité et valeur énergétique), on peut faire l'hypothèse qu'en 2022, les chèvres aient ingéré moins de fourrage sur le lot Mûrier que sur le lot Bâtiment, conduisant à des apports énergétiques similaires entre traitements, sans effet au final sur la production laitière.

L'ampleur de l'augmentation du taux butyreux du lait sur le lot Mûrier (+ 9 g/kg de lait), et dans les deux essais, n'est pas simple à expliquer. Ce résultat peut sans doute s'expliquer en partie par la teneur en matières grasses des feuilles de mûrier, deux fois plus élevée que celle du foin de luzerne. Ainsi, l'apport de matière grasse supplémentaire dans la ration du lot Mûrier est estimé entre 30 à 50 g/j avec l'hypothèse vu précédemment d'une ingestion de feuilles de mûrier comprise entre de 1,3 à 1,9 kg MS/jour. En effet, il est connu chez la chèvre laitière que l'apport de matière grasse alimentaire est le moyen le plus rapide et efficace pour augmenter le taux butyreux du lait (Schmidely et Sauvant, 2001; Lefrileux *et al.*, 2012). Mais les effets restent variables selon la nature de cette matière grasse. Dans le cas de la ferme du Pradel, avec l'apport de graines de tournesol, le taux butyreux ne dépasse pas 35 g/kg de lait à cette période de l'année comme constaté lors de la période de référence en 2021 (Tableau 1). Ainsi, l'ampleur de l'augmentation observée du taux butyreux est parmi les plus importantes observées à ce niveau d'écart d'apport de matière grasse dans la ration. Elle correspond, en effet, à celle déjà observée avec l'apport d'une source riche en matière grasse dans la ration comme l'huile de colza (Mir *et al.*, 1999). Dans cette dernière étude, avec trois niveaux de matière grasse ingérée (40, 60 et 80 g/j), le taux butyreux a augmenté respectivement de 4,0, 9,2 et 11,2 g/kg de lait par rapport au témoin sans huile de colza.

La plus faible teneur en urée du lait dans le lot Mûrier, clairement observée les deux années, semble difficilement explicable par les variations des teneurs en MAT des rations, notamment en 2021, où le mûrier était plus riche en MAT que le foin de luzerne.

Elle pourrait être liée en partie à la teneur élevée en minéraux des feuilles de mûrier (Emile *et al.*, 2017 ; Bernard *et al.*, 2020), qui pourrait conduire à une excrétion urinaire plus importante, donc à une fuite d'urée via l'urine plus importante, réduisant la concentration en urée dans les autres compartiments puisque l'urée diffuse librement dans l'animal. Ce phénomène est déjà observé en cas de forte ingestion de chicorée ou de plantain, qui contiennent autant de minéraux que les feuilles de mûrier (Nguyen *et al.*, 2022).

Cette étude montre finalement que les feuilles de mûrier peuvent permettre d'alimenter les chèvres en lactation au même titre que n'importe quel bon fourrage, en raison de leur bonne valeur alimentaire et de la nette propension des chèvres à réduire fortement et volontairement l'ingestion de foin en soirée et la nuit au profit des mûriers en journée.

4.3 Des Picodons qui conservent toutes leurs caractéristiques

En technologie lactique, l'acidification est une étape importante pour le bon déroulé des fabrications. Au global, le pH en fin d'acidification a atteint les objectifs en fromages lactiques, c'est-à-dire être situé entre 4,6 et 4,2. Les différences de pH observées en 2021 sur l'ensemble des fabrications entre les deux lots restent néanmoins faibles, et surtout ne se retrouvent pas en 2022. Des paramètres non étudiés ici comme la composition microbiologique des laits et la teneur en flore acidifiante pourraient expliquer cet écart de pH initial (Jeantet *et al.*, 2017).

L'écart de rendement au démoulage s'explique par les caractéristiques du lait de chaque lot et en particulier par les taux. En effet, plus le taux protéique est élevé, et de façon moins importante le taux butyreux, plus on améliore le rendement au démoulage (Colin *et al.*, 1992). Dans cet essai cependant, l'écart de rendement au démoulage semble s'expliquer principalement par l'écart de taux butyreux en faveur du lot Mûrier. En effet, si le rapport taux butyreux/taux protéique est trop faible, l'égouttage est plus important, réduisant le rendement. Inversement si ce rapport est trop élevé, l'égouttage sera freiné, les globules gras faisant mécaniquement obstruction à l'évacuation du sérum. Les valeurs optimales en lait de chèvre sont comprises entre 1,10 et 1,15 (Verdier-Metz *et al.*, 2001). Au final, le lot Mûrier reste celui le plus proche de l'optimum attendu, tandis que le lot Bâtiment est en inversion de taux, ce qui peut impacter le rendement final.

Ainsi, le lot Mûrier a permis de produire plus de fromages tout en respectant l'objectif de l'AOP Picodon, à savoir les 60 g minimum par fromage à 12 jours. Ces résultats sont importants pour les éleveurs fromagers car une augmentation même faible du rendement fromager peut entraîner des gains économiques importants.

Sur les fromages dégustés par les consommateurs en 2021, les deux lots ne sont pas apparus comme étant différents. Ces résultats sont confirmés par le panel expert en 2022.

Toutefois, trois descripteurs, liés principalement à la fermeté des fromages, semblent présenter des écarts plus marqués, compris entre 0,5 et 0,7 point. Les fromages sont notés tous relativement fermes, ce qui correspond aux attentes pour un Picodon AOP, mais ceux issus du lot Mûrier ressortent légèrement moins fermes (- 0,7 point), au couteau comme en bouche. De même, l'aspect du cœur est moins sec (+ 0,5 point) pour les fromages de ce lot. Ces résultats corroborent la teneur supplémentaire de matière grasse et de gras sur sec des fromages du lot Mûrier (Coulon *et al.*, 2005). Ils sont également cohérents avec les tests rhéologiques et colorimétriques réalisés.

Dans cette étude avec des conditions de fabrications fromagères contrôlées de l'emprésurage à l'affinage, une alimentation à base de feuilles de mûriers ne modifie pas sensiblement les propriétés sensorielles des fromages de type lactique comme le Picodon AOP.

5. Conclusion

La valorisation de la ressource ligneuse par les chèvres présente de multiples intérêts à différents niveaux. C'est notamment une ressource disponible en période de sécheresse et permettant d'augmenter l'autonomie fourragère. Cette étude a permis de montrer l'intérêt des feuilles de mûrier blanc sur les performances laitières et l'aptitude à la transformation fromagère. Avec seulement 7 h d'accès au pâturage des mûriers par jour, les chèvres ont ingéré plus des deux tiers de leur ration fourragère sous forme de mûrier, au détriment du foin de luzerne donné à volonté le soir et la nuit. La production laitière est maintenue, voire améliorée lorsque le foin est de qualité moyenne, avec des taux plus élevés, en particulier le taux butyreux, et un taux d'urée plus faible. Lors de la fabrication des fromages, le rendement fromager en ressort amélioré comme de nombreuses caractéristiques du lait. De plus, les consommateurs et le panel expert ont confirmé l'absence de différences perceptibles à la dégustation entre les fromages issus de cette alimentation par rapport à une alimentation à base de foin de luzerne. Au final, les craintes éventuelles des producteurs peuvent être levées, les fromages issus du lait de pâturage de feuilles de mûrier conservent toutes les caractéristiques et les saveurs d'un Picodon AOP. Des points de vigilance peuvent tout de même être notés lors de la fabrication avec l'augmentation des taux et en particulier du taux butyreux, en anticipant le nombre de fromages à mouler par le calcul du rendement fromager. Ce pâturage de mûriers en été est donc avantageux pour les éleveurs caprins et plus spécifiquement les fromagers. Toutefois, cette ressource fourragère requiert une gestion différente de celle d'une prairie, notamment pour garantir l'accessibilité des feuilles aux chèvres (taille hivernale ou coupe des branches). L'optimisation de la biomasse foliaire accessible pour le pâturage reste encore à investiguer en réalisant des modes de tailles différents et en déterminant l'effet de la densité de mûriers plantés par hectare.

Remerciements

Ces travaux de recherche ont été financés par la DRAAF AuRA (projet APaChe), dans le cadre de la programmation Massif central 2021-2027. Nos remerciements vont à tout le personnel de la ferme caprine du Pradel pour leur implication dans l'organisation et la bonne conduite des essais, aux techniciens de laboratoire pour les différentes analyses des aliments et des fèces (IDELE, 14310 Villers-Bocage ; Agrolab's, 15000 Aurillac ; INRAE de Theix, 63122 Saint Genès Champanelle ; INRAE-P3F 86600 Lusignan et INRAE PEGASE, 35590 Saint-Gilles), ainsi qu'à Mathilde Chazalet (stagiaire sur ces essais).

Références bibliographiques

Afnor, octobre (2007). NF EN ISO 4120. Analyse sensorielle. Méthodologie. Essai triangulaire.

Afnor, août (2008). NF EN ISO 8586-2. Lignes directrices générales pour la sélection, l'entraînement et le contrôle des sujets.

Afnor, mai (2010). NF EN ISO 13299. Analyse sensorielle. Méthodologie. Directives générales pour l'établissement d'un profil sensoriel.

Bhatta R., Shinde A.K., Sankhyan S.K., Verma D.L., Vaithiyanathan S. (2002). Effect of feeding tree foliage on milk yield and composition of lactating goats on semi-arid rangeland. *Indian J. Anim. Sci.*, 72, 84-86.

Bernard M., Ginane C., Deiss V., Emile J. C., Novak S. (2020). « Ingestion volontaire et digestibilité in vivo de feuilles de deux essences d'arbres, le frêne commun (*Fraxinus excelsior*) et le mûrier blanc (*Morus alba*) ». *Fourrages*, 242, 55-59.

Charpentier A., Caillat H., Gastal F., Delagarde R. (2019). Intake, milk yield and grazing behaviour of strip-grazing dairy goats in response to daily pasture allowance. *Animal*, 13, 2492-2500. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000703>

Colin O., Laurent F., Vignon B. (1992). « Variations du rendement fromager en pâte molle. Relations avec la composition du lait et les paramètres de la coagulation ». *Lait*, 72, 307-319. <https://doi.org/10.1051/lait:1992323>

Coulon J. B., Delacroix-Buchet A., Martin B., et Pirisi A. (2005). « Facteurs de production et qualité sensorielle des fromages ». *INRA Productions Animales*, 18, 49-62. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2005.18.1.3509>

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.

Ferreira LMM, Oliván M., Garcia U., Rodrigues MAM, Osoro K. (2005). Validation of the alkane technique to estimate diet selection of goats grazing heather-gorse vegetation communities. *J. Sci. Food Agric.*, 85, 1636-1646. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2162>

Genevet E., Boyer C. (2023). « Valorisation des ressources ligneuses par les élevages caprins du Massif-Central : Des ressources qui intéressent et qui soulèvent des interrogations dans leur conduite globale ». 6p. <https://idele.fr/detail-article/valorisation-des-ressources-ligneuses-par-les-elevages-caprins-du-massif-central>

Jeanet R., Croguennec T., Garric G., Brulé G. (2017). « Initiation à la technologie laitière ». *Editions Tec & Doc Lavoisier*, 2, 210 p.

Koushki M.R., Gupta M.P., Ogra J.L. (1994). Effect of feeding non-conventional tree fodders on fatty acid composition and nitrogen fractions of goat milk. *Indian J. Anim. Sci.*, 64, 520-525.

Lefrileux Y., Pommaret A., Morand-Fehr P. Legarto J. (2012). « Utilisation des prairies par les chèvres laitières dans les conditions du Sud-Est de la France ». *Fourrages*, 212, 279-288.

Lerch S., Ferlay A., Graulet B., Cirié C., Verdier-Metz I., Montel M.C., Chilliard

Y., Martin B. (2015). « Extruded linseeds, vitamin E and plant extracts in corn silage-based diets of dairy cows: Effects on sensory properties of raw milk and uncooked pressed cheese ». *International Dairy Journal*, 51, 6574. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.07.006>

Madrid A., De Crémoux R., Delaby L., Larroque H., Novak S., Vinet A. (2024). « L'élevage de ruminants s'adaptera-t-il au changement climatique ? Impacts et leviers d'adaptation ». *Renc. Rech. Ruminants*, 27, 306-316

Mayes R.W., Lamb C.S., Colgrove P.M. (1986). « The use of dosed an herbage n-alkanes as markers for determination of herbage intake ». *J. Agric. Sci. (Camb.)*, 107, 161-170. <https://doi.org/10.1017/S0021859600066910>

Mir Z., Goonewardene L.A., Okine E., Jaegar S., Scheer H.D., (1999). « Effect of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long chain fatty acids in goats milk ». *Small Rum. Res.*, 33, 137-143. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2001.14.5.3760>

Moulin C. H., Etienne L., González-García E., Guichet N., Lurette A., Bounab M. (2021). « Nouvelles pratiques agroforestières pour les élevages allaitants du piémont pyrénéen en Ariège ». *Fourrages* 245, 31-40.

Nguyen T.T., Navarrete S., Horne D.J., Donaghy, D.J., Kemp P.D. (2022). Forage plantain (*Plantago lanceolata* L.): metaanalysis quantifying the decrease in nitrogen excretion, the increase in milk production, and the changes in milk composition of dairy cows grazing pastures containing plantain. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 285, 115244. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115244>

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.

Thi Mui N., Ledin I., Udén P., Van Binh D. (2002). The foliage of flemingia (*Flemingia macrophylla*) or jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) as a substitute for a rice bran-soyabean concentrate in the diet of lactating goats. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 15, 45-54.

Thorey P., Boyer C. (2024). « Évaluation de différentes ressources fourragères pour le pâturage estival des chèvres en contexte séchant du sud Ardèche et en AOP Picodon ». *Fourrages*, 260, 83-94

Tsiplakou E., Zervas G. (2008). The effect of diatery inclusion of olive tree leaves and grape marc on the content of conjugated linoleic acid and vaccenic acid in the milk of dairy sheep and goats. *J. Dairy Res.*, 75, 270-278. <https://doi.org/10.1017/S0022029908003270>

Verdier-Metz I., Coulon J. B., Pradel P. (2001). « Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield ». *Anim. Res.*, 50, 365-371. <https://doi.org/10.1051/animres:2001138>

Schmidely P., Sauvant D. (2001). « Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : effets de l'apport de matières grasses ou d'aliment concentré ». *INRA Productions Animales*, 14, 337-354. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2001.14.5.3760>