

LUZERNE ET/OU FÉTUQUE DÉSHYDRATÉES CHEZ LA CHÈVRE : EFFETS SUR L'INGESTION, LA PRODUCTION ET LES APTITUDES FROMAGÈRES

Mise en situation

La luzerne est une légumineuse fourragère riche en protéines et productive, cultivée en France et largement utilisée en alimentation des chèvres laitières, notamment sous forme déshydratée. Elle contribue à fournir aux élevages des protéines locales en substitution des protéines d'importation. La luzerne déshydratée pourrait avoir des effets positifs sur la qualité fromagère du lait de chèvre, mais est-ce lié à la luzerne *sensu stricto* ?

Résumé

Utiliser de la luzerne sous forme déshydratée dans les systèmes alimentaires caprins permet d'augmenter l'ingestion totale et donc la production laitière. En revanche, les bénéfices de la luzerne déshydratée sur les caractéristiques du lait et des fromages ne sont pas connus. L'objectif de cet essai a été de quantifier les effets spécifiques de la luzerne déshydratée, en comparaison avec de la fétuque déshydratée, sur l'ingestion, la production laitière, la composition fine du lait de chèvre, son aptitude fromagère et sur les fromages de type faisselle. Trois traitements ont été comparés sur 3 lots de 12 chèvres Alpine multipares en milieu de lactation pendant 6 semaines, avec un régime à base de fourrage déshydraté constitué de 100 % de fétuque (FET), de 50 % de fétuque et 50 % de luzerne (MIX), ou de 100 % de luzerne (LUZ). Le fourrage a été complété avec 820 g de matière sèche (MS)/jour de concentré à base de maïs grain, mais comprenant 15, 11 et 7 % de tourteau de soja pour FET, MIX et LUZ, respectivement, pour obtenir des rations iso-azotées. L'ingestion de fourrage déshydraté et l'ingestion totale ont été d'autant plus élevées que la proportion de LUZ était importante (+ 0,52 kg MS/j entre FET et LUZ). Le traitement LUZ n'a pas permis d'augmenter la production laitière. Les taux butyreux et protéique ont augmenté de manière linéaire avec l'accroissement de l'apport de luzerne dans la ration et ce dès la semaine 3 (+3,8 et +1,7 g/kg de lait entre FET et LUZ, respectivement). Le rendement fromager de laboratoire de type présure en frais a été significativement plus élevé avec LUZ en semaine 6. Cette augmentation du rendement a été associée à un taux de matières utiles plus élevé. L'analyse sensorielle n'a pas permis de discriminer les traitements alimentaires malgré un effet significatif de la luzerne sur la texture des fromages. Le remplacement de la fétuque déshydratée par de la luzerne déshydratée dans l'alimentation des chèvres a donc permis une augmentation de l'ingestion, une amélioration de la composition du lait et de meilleurs rendements fromagers en frais.

Auteurs

Catherine Hurtaud¹, Honoré Labanca², Didier Coulmier³, José Breno da Silva Moreira¹, Rémy Delagarde¹

¹PEGASE, INRAE, L'INSTITUT AGRO, 35590, SAINT-GILLES, FRANCE

²L.C.A. LUZERNE DE FRANCE, 75538 PARIS CEDEX 11, FRANCE

³DESIALIS, 51007 CHALONS EN CHAMPAGNE CEDEX, FRANCE

Auteur correspondant

Catherine HURTAUD,
catherine.hurtaud@inrae.fr

Mots clés

fourrages, azote, faisselle, caprins, ingestion

Key words

forage, nitrogen, cottage cheese, goat, intake

Références de l'article

Hurtaud C., Labanca H., Coulmier D., da Silva Moreira J. B., Delagarde R. (2025). Luzerne et/ou fétuque déshydratées chez la chèvre : effets sur l'ingestion, la production et les aptitudes fromagères - *Fourrages* 261, 103-115.

Summary

Dehydrated lucerne and/or tall fescue on dairy goat : effects on intake, milk production and cheese-making ability

Using dehydrated lucerne in goat feeding systems increases total feed intake and therefore milk production. However, the benefits of dehydrated lucerne on milk and cheese characteristics are unknown. The objective of this trial was to quantify the specific effects of dehydrated lucerne, in comparison with dehydrated tall fescue, on feed intake, milk production, the fine composition of goat milk, its cheese-making ability and on faisselle-type cheeses. Three treatments were compared on 3 groups of 12 multiparous Alpine goats in mid-lactation for 6 weeks, with a diet based on dehydrated forage consisting of 100% tall fescue (FET), 50% tall fescue and 50% lucerne (MIX), or 100% lucerne (LUZ). The forage was supplemented with 820 g DM/day of maize grain-based concentrate, but including 15, 11 and 7% soyabean meal for FET, MIX and LUZ, respectively, to obtain isonitrogenous diets. The intake of dehydrated forage and total intake were greater as increasing the proportion of LUZ (+0.52 kg DM/day between FET and LUZ). The LUZ treatment did not increase milk production. Milk fat and protein contents increased linearly with the increase in lucerne proportion in the ration and this from week 3 (+3.8 and +1.7 g/kg of milk between FET and LUZ, respectively). The fresh rennet-type laboratory cheese yield was significantly higher with LUZ in week 6. This increase in yield was associated with a higher milk solids content. Sensory analysis did not allow to differentiate feeding regimes, but introducing lucerne affected the texture of the cheeses. Replacing dehydrated tall fescue with dehydrated lucerne in the goats' diet therefore resulted in an increase in total intake, an improvement in milk composition and better fresh cheese yields.

Introduction

Dans l'Union européenne, la France est le premier producteur de lait de chèvre, avec un cheptel de plus de 1,2 millions de têtes et 671 millions de litres de lait par an, et le deuxième en termes de production laitière par chèvre et par an. Environ 75 % du lait est livré à l'industrie laitière et 25 % du lait est transformé à la ferme. Le cheptel caprin français est constitué à 62 % de chèvres de race Brune Alpine qui ont une production moindre, mais un lait plus riche, que la race Saanen, qui représente 34 % de l'effectif national (Idele, 2022). En France, la consommation de produits à base de lait de chèvre, principalement les fromages, a fortement augmenté ces dernières décennies. En 2021, la consommation de fromages de chèvre était de 60,4 millions de tonnes, ce qui représente une croissance de 9,9 % par rapport à 2016 (France Agrimer, 2022).

En raison de l'importance de la transformation fromagère en filière laitière caprine, la composition et la qualité du lait sont des points particulièrement importants à contrôler et à améliorer, et notamment via l'alimentation quand cela est possible.

Des études menées au cours des dernières décennies montrent l'impact sur la quantité produite et la qualité du lait de chèvre de différents types de fourrages, tels que les graminées et les légumineuses, proposés sous différentes formes : vert, ensilage, préfané et foin (Goetsch *et al.*, 2011 ; Inglingstad *et al.*, 2014). Les légumineuses fourragères, et principalement la luzerne, ont une place de choix dans les systèmes alimentaires caprins (Caillat *et al.*, 2016). Malgré sa relative faiblesse en énergie comparée à d'autres légumineuses comme les trèfles (INRA, 2018), la luzerne est très utilisée pour de multiples raisons, dont sa productivité, sa teneur en protéines et en fibres, sa capacité à être séchée et stockée, et son appétence. En élevage, elle est principalement utilisée sous forme de foin ou sous forme déshydratée et condensée. L'utilisation de

luzerne sous forme déshydratée et condensée permet de limiter fortement les refus des tiges les plus grossières, et d'augmenter ainsi la valorisation du fourrage récolté.

Le lait de chèvre est très majoritairement valorisé sous forme de fromages. Des bénéfices spécifiques de l'utilisation de luzerne déshydratée en termes de transformation fromagère, de rendement fromager et de qualité des fromages sont parfois évoqués, mais aucune étude comparative complète n'a été réalisée jusqu'à présent. Caillat *et al.* (2016) ont conclu sur la nécessité de déterminer l'incidence de l'utilisation d'une forte proportion de légumineuses dans le régime alimentaire des chèvres laitières, et particulièrement de luzerne, sur les qualités biochimiques et organoleptiques des laits et des fromages. De plus, il n'est pas clair si l'effet positif de la luzerne déshydratée proviendrait plutôt de la nature du fourrage (luzerne) ou plutôt du processus de déshydratation du fourrage sensu stricto, via des effets potentiels sur l'ingestion et/ou la digestion.

L'objectif de cet essai a donc été de quantifier les effets de la luzerne déshydratée, en remplacement partiel ou total d'un régime de même nature (fétuque déshydratée), sur l'ingestion, la production laitière, la composition fine du lait, son aptitude fromagère et sur les fromages de type faisselle chez la chèvre laitière.

1 Matériel et méthodes

1.1. Traitements, animaux et schéma expérimental

L'expérimentation a été réalisée au printemps 2022 à l'Installation Expérimentale en Production Laitière de Méjusse (INRAE, PEGASE, 35650 Le Rheu, France ; <https://doi.org/10.15454/yk9q-pf68>).

Trois traitements ont été comparés, pour établir une loi de réponse des chèvres au taux d'incorporation de luzerne dans le fourrage déshydraté :

- FET : fourrage = 100 % de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* L.) déshydratée
- MIX : fourrage = 50 % de luzerne (*Medicago sativa* L.) et 50 % de fétuque élevée déshydratées
- LUZ : fourrage = 100 % de luzerne déshydratée

Ces 3 fourrages ont été fournis par la coopérative agricole de déshydratation de fourrages DESHYQUEST (Domagné, France) mi-mai 2022. Ils avaient une forme de présentation similaire (brins longs de 3,5 à 5 cm), sous forme de grosses balles de 222 × 110 × 90 cm, soit environ 700 kg par balle. Le fourrage MIX a été livré déjà mélangé. La fétuque a été récoltée et déshydratée la semaine calendaire 17 (fin avril). La luzerne a été récoltée et déshydratée la semaine calendaire 18 (début mai). Le mélange MIX a été réalisé par DESHYQUEST la semaine calendaire 18 (début mai). Le fourrage a été distribué une fois par jour à 10h00, dans le couloir d'alimentation, le fourrage étant rendu accessible en permanence (environ 23 h/jour) par des repousses régulières en cours de journée. Les seuls moments où le fourrage était inaccessible étaient les périodes de traite (environ 6h30-6h45 le matin et 16h30-16h45 le soir) et l'intervalle entre la pesée des refus (9h30) et la nouvelle distribution de fourrage. La quantité distribuée était déterminée chaque matin en fonction de l'ingéré de la veille avec pour objectif d'avoir 10 % de refus (alimentation à volonté).

En plus des fourrages, les chèvres ont reçu chaque jour une quantité identique de concentrés pour tous les traitements, à savoir 900 g brut (soit 820 g de MS) de concentré et 20 g de minéraux. Le concentré a été distribué pour partie en individuel en salle de traite (2 × 200 g de maïs grain granulé) et pour partie en individuel au cornadis (2 × 250 g). Le concentré distribué au cornadis était composé de maïs grain granulé et de tourteau de soja en proportions variables selon les traitements, avec pour objectif d'atteindre des rations iso-azotées. Une analyse chimique des fourrages, préalable à l'essai, avait montré des teneurs en matières azotées totales (MAT) de la FET et de la LUZ de 152 et 179 g/kg de MS, respectivement. Pour atteindre cet objectif a priori, une simulation a ainsi permis de calculer les quantités de tourteau de soja à apporter par traitement : 137, 102 et 68 g par traite pour FET, MIX et LUZ, respectivement, le complément étant le maïs grain granulé : 113, 148 et 182 g par traite pour FET, MIX et LUZ, respectivement. Le minéral a été distribué dans l'auge en collectif, une fois par jour le matin à 6h30.

L'essai a été conduit sur 36 chèvres Alpine multipares après le pic de lactation. Juste avant l'essai, les chèvres ont été réparties en 3 lots homogènes de 12 chèvres multipares, à partir des données collectées en période de référence, du 25/04/2022 au 08/05/2022 : en moyenne, poids vif de $58,7 \pm 6,21$ kg, stade de

lactation de $81 \pm 9,1$ jours, production laitière de $3,22 \pm 0,607$ kg/jour, taux butyreux de $29,2 \pm 2,53$ g/kg de lait, taux protéique de $26,2 \pm 2,19$ g/kg de lait. Durant cette période de référence, les chèvres ont été conduites ensemble et ont reçu chaque jour en lot du foin fibreux de graminées à volonté, 300 g de tourteau de soja et 200 g de concentré maïs grain, distribués en 3 fois (6h30, 12h, 18h30), plus 2 × 250 g de concentré maïs en salle de traite (soit un total de 1 kg brut de concentré/chèvre/jour), et 20 g de minéraux distribués par jour en collectif. La transition progressive entre le fourrage pré-expérimental et les fourrages expérimentaux a été réalisée sur 12 jours, du 19/05 au 30/05/2022. La transition progressive sur les concentrés (quantité et nature) a été réalisée sur 7 jours, du 17/05 au 23/05/2022.

L'essai a été conduit selon un schéma expérimental en continu pendant 6 semaines (23/05 au 18/07/2022), les chèvres ne changeant pas de traitement durant tout l'essai. Les 36 chèvres ont été réparties dans trois travées comportant chacune 12 places de cornadis, avec une travée par lot, les groupes ne changeant pas de travée durant tout l'essai. Elles ont eu un accès permanent à l'eau de boisson (un abreuvoir pour 12 chèvres).

1.2. Mesures sur les aliments

Des échantillons représentatifs de tous les aliments offerts, et des refus de fourrage (pas de refus de concentrés), ont été collectés, à raison de 3 jours par semaine pour les fourrages (offert et refus) et 2 jours par semaine pour les concentrés, pendant tout l'essai. Les échantillons ont été regroupés par quinzaine (Semaines 1 + 2, Semaines 3 + 4, Semaines 5 + 6) en vue des analyses chimiques. Les échantillons ont été analysés pour leur teneur en matière sèche, en MM (Matières Minérales, NF V18-101, 1977), en MAT (Matières Azotées Totales, NF EN ISO 16634, 2008), en NDF (Neutral Detergent Fibre), en ADF (Acid Detergent Fibre) et en ADL (Acid Detergent Lignin) (Van Soest et al., 1991). La matière grasse a été dosée par la méthode de Folch et al. (1957) et le profil en acides gras des aliments offerts et des refus a été mesuré par chromatographie en phase gazeuse (NF EN ISO 12966) (Capinov, Landerneau).

La granulométrie des fourrages offerts et refusés a été déterminée une fois par semaine au cours des semaines 2 à 6, à partir des 4 grilles de diamètres différents du Penn State Particle Separator (19 mm, 8 mm, 4 mm, 1,18 mm).

1.3. Mesures sur les animaux

La production laitière de chaque chèvre a été mesurée chaque jour à chaque traite. Les taux butyreux et protéique ont été mesurés matin et soir 3 jours par semaine (semaines 3 et 6), ou 2 jours par semaine (semaines 1, 2, 4 et 5). Les cellules du lait ont été mesurées une fois par semaine (matin + soir).

Chaque chèvre a été pesée en fin de semaines 3 et 6, le matin après la traite et avant la distribution des fourrages.

L'ingestion de chaque aliment (kg MS/jour) a été mesurée chaque jour, soit à l'échelle du lot (fourrages déshydratés), soit à l'échelle individuelle (concentré maïs et tourteau de soja), par différence entre la quantité offerte et la quantité refusée de MS. La composition chimique de la ration réellement ingérée a été calculée à partir des quantités offertes et de la composition chimique de chaque aliment offert, en tenant compte également de la quantité de refus de fourrage et de sa composition chimique.

• Lait individuel

Pour étudier la composition fine du lait, le mercredi soir et le jeudi matin de la pré-expérience, et des semaines 3 et 6, à chaque traite, les chèvres ont été traitées sur bidon. Un échantillon de lait de 1 L a été prélevé par chèvre. Les laits du soir et du matin ont été mélangés en respectant la part de lait produit à chaque traite (60 % traite du matin, 40 % traite du soir). Les analyses réalisées sur les échantillons de lait ont été les suivantes : taux protéique, taux butyreux, cellules, lactose (dosage par MIR, Mylab, Chateaugiron), MAT, azote non protéique (NPN), azote non caséinique (NCN) (selon la méthode Kjeldahl), urée (sur ultrafiltrat du lait par réaction enzymatique colorimétrique), taille des globules gras et des caséines par granulométrie Mastersizer, citrate (méthode enzymatique), calcium total et soluble (par ICP-OES), phosphore total et soluble [spectrophotométrie selon la méthode d'Allen, Pien (1969)], composition des acides gras totaux (chromatographie en phase gazeuse, ISO 16958 Actalia, Mamirolles) (Hurtaud *et al.*, 2024). Chaque lot a été subdivisé en 3 sous-lots de 4 chèvres homogènes et semblables au lot entier. Sur les laits issus de ces sous-lots, on a mesuré le temps de coagulation à la présure (méthode de Berridge) et les rendements fromagers de laboratoire présure et lactique, en frais et en matière sèche (Hurtaud *et al.*, 1995).

1.4. Fabrication et analyse sensorielle de fromages de type faisselle

Le mardi matin et le mardi soir en semaine 6, en semaine 7 et en semaine 9 (post-expérience), le lait des chèvres a été dérivé par lot dans des bidons qui ont été stockés en chambre froide à +4°C. Le matin suivant cette dérive, les 6 bidons de lait (3 bidons de lait du matin et 3 bidons de lait du soir) ont été apportés vers 8 h à la halle technologique de The Land (Rue Fernand Robert, 35000 Rennes) pour être transformés en faisselles. Le diagramme de fabrication est présenté sur la figure 1.

Deux semaines après la fabrication des faisselles (10 jours pour la dernière fabrication en post-expérience), un test sensoriel comparatif a été réalisé avec 15 à 18 panelistes entraînés, sur 10 critères, par la société AQUALEHA (35500 Vitré). Les panelistes ont reçu les 3 produits en même temps et ils les ont notés. L'échelle de réponse utilisée est une échelle continue allant de 0 à 10, pour les critères suivants :

ASPECT : Intensité de la couleur

ODEUR : Intensité de l'odeur globale

TEXTURE : Fermeté / Onctuosité / Texture fondante / Granulosité

GOUT : Saveur amère / Saveur acide / Persistance globale du goût / Intensité globale du goût

1.5. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS (SAS 9.2 Institute Inc., Cary, Caroline du Nord, États-Unis).

Pour les données d'alimentation, une analyse de variance a été réalisée avec la procédure GLM de SAS avec 2 facteurs fixes (traitement et semaine) sans interaction. Le modèle statistique était le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + Alim_i + Semaine_j + e_{ij}$$

Pour la production laitière et les taux (semaines 3, 4, 5 et 6) et pour tous les autres paramètres (semaines 3 et 6), une analyse de covariance a été réalisée avec un modèle MIXED de SAS. Le modèle statistique incluait le traitement, la semaine expérimentale (mesures répétées), l'interaction entre le traitement et la semaine expérimentale et la covariable correspondant à la valeur de la variable Y_{ij} mesurée pendant la période pré-expérimentale ($CovY_{ij}$). Le modèle statistique était donc le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + Alim_i + Semaine_j + Alim_i \times Semaine_j + CovY_{ij} + e_{ij}$$

Aucune analyse statistique n'a pu être réalisée sur les fabrications de faisselles à cause du manque de données (uniquement 3 données pour les semaines 3 et 6 associées à une covariable mesurée en post-expérience, semaine 9). Des moyennes brutes ont été calculées.

2 Résultats et discussion

2.1. Alimentation

Comme attendu (INRA, 2018), la FET offerte a été plus riche en NDF (509 vs. 432 g/kg MS) mais moins riche en MAT (152 vs. 179 g/kg MS), en ADF (250 vs. 293 g/kg MS) et en ADL (21 vs. 57 g/kg MS) que la LUZ offerte, avec des valeurs intermédiaires pour le MIX (tableau 1). Les valeurs nutritives calculées à partir des compositions chimiques grâce à Prevalim (INRA, 2018) montrent une valeur énergétique nettement supérieure pour la FET offerte que pour la LUZ offerte (+0,22 UFL/kg MS), et une valeur azotée et protéique légèrement plus faible (Balance Protéique du Rumen (BPR) : -22 g/kg MS ; Protéines Digestibles dans l'intestin (PDI) : -6 g/kg MS) (Tableau 1).

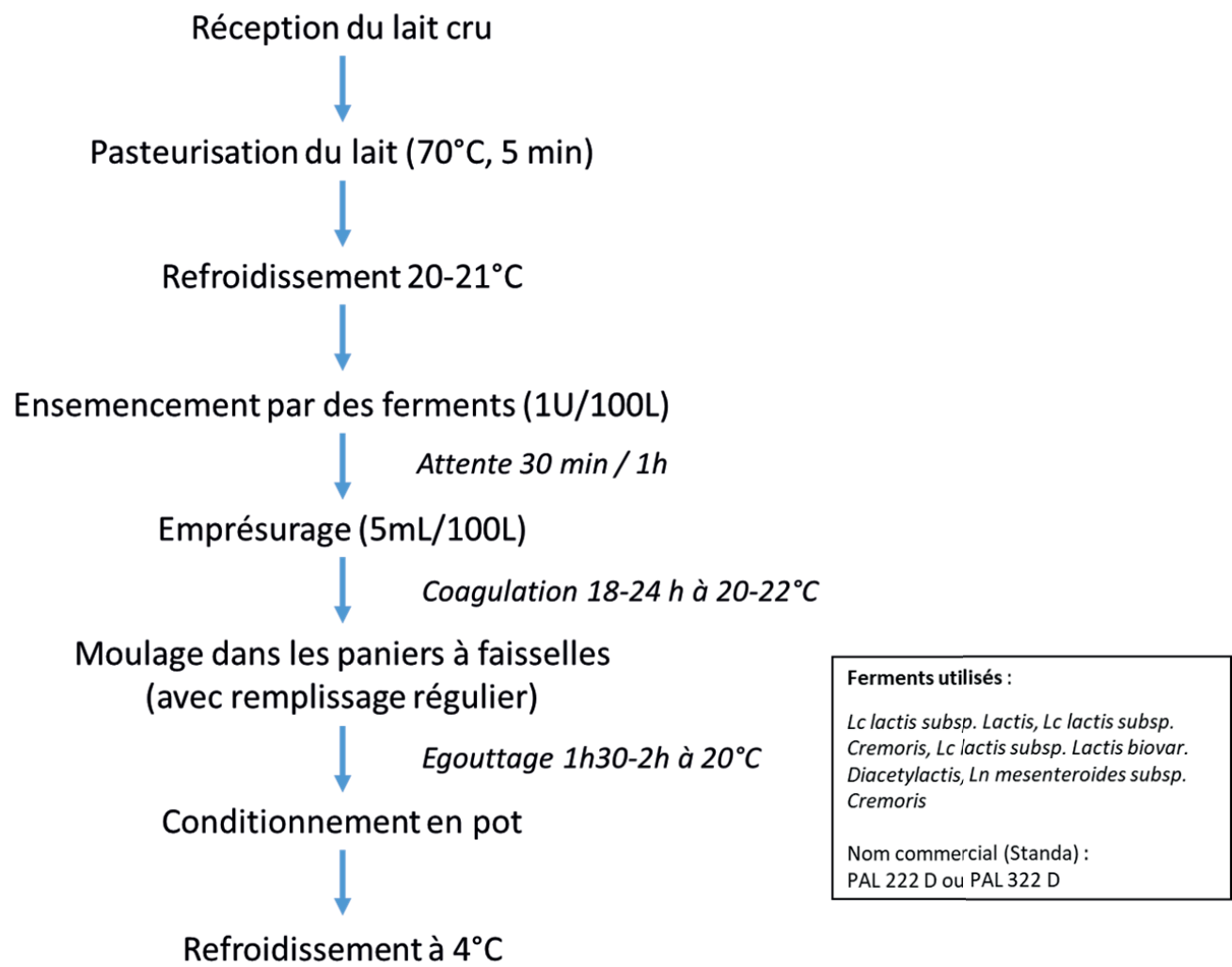


FIGURE 1 : Diagramme de fabrication des faisselles

Figure 1: Fabrication diagram for the faisselle-type cheeses

Définition réglementaire en France codifiée par le décret fromage 1010 établi en 2013.

Les fromages blancs fermentés et commercialisés avec le qualificatif "frais" ou sous la dénomination "fromage frais" doivent renfermer une flore vivante au moment de la vente au consommateur. L'extrait sec total (fromage + lactosérum) doit être supérieur ou égal à :

- 14 % du poids nominal étiqueté, si le gras / sec du fromage est supérieur ou égal à 20 %
- 10 % du poids nominal étiqueté, si le gras / sec du fromage est inférieur à 20 %.

TABEAU 1 : Composition chimique, valeur nutritive, concentration en matières grasses et en acides gras (% des acides gras totaux) et granulométrie moyenne, exprimée en % de la MS retenue sur chaque grille du tamis Penn State, des fourrages offerts et refusés

Table 1: Chemical composition, nutritive value, concentrations in total in fat and in fatty acids (% of total fatty acids) and particles size, expressed as % of DM retained on each sieve of the Penn State Particle Separator, of forages offered and refused.

Variable ¹	Fourrage offert ²			Fourrage refusé ²		
	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ
MM (g/kg MS)	74	87	94	71	99	115
MAT (g/kg MS)	152	171	179	130	187	219
NDF (g/kg MS)	509	454	432	534	407	361
ADF (g/kg MS)	250	266	293	270	240	231
ADL (g/kg MS)	21	42	57	23	41	47
UFL (UFL/kg MS)	1,05	0,94	0,83	-	-	-
PDI (g/kg MS)	97	102	103	-	-	-
BPR (g/kg MS)	-4	11	18	-	-	-
Matières grasses (g/100 g MS)	1.50	1.50	1.45	1.45	1.40	1.33
cis-9-C18:1 (%)	2.3	3.9	2.0	2.0	3.2	2.2
cis-9,cis-12-C18:2 (%)	11.5	18.7	22.2	11.3	17.6	22.6
cis-9,cis-12, cis-15-C18:3 (%)	46.4	35.7	30.0	45.0	35.0	30.7
AGMI (%)	5.8	8.0	6.3	6.5	8.3	5.9
AGPI (%)	74.1	67.4	63.9	71.3	66.9	64.5
Granulométrie						
19 mm (% MS retenu)	28,0	11,8	23,2	42,4	13,5	16,7
8 mm (% MS retenu)	29,3	29,6	25,4	26,8	21,0	15,8
1,18 mm (% MS retenu)	17,8	19,9	19,0	11,1	12,2	13,8
< 1,18 mm (% restant)	12,1	19,7	13,6	11,1	29,7	29,3

¹MM : Matières minérales, MAT : Matières azotées totales, NDF : Neutral Detergent Fibre, ADF : Acid Detergent Fibre, ADL : Acid Detergent Lignin, UFL : Unité Fourragère Lait, PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin, BPR : Balance Protéique du Rumen (INRA, 2018), AGMI : Acides Gras Mono-Insaturés, AGPI : Acides Gras Poly-Insaturés.

²FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée.

La FET refusée a été moins riche en MAT et plus riche en fibres que l’offert, montrant que les chèvres ont sélectionné une FET de meilleure valeur nutritive que celle offerte. En revanche, l’inverse a été observé pour LUZ, avec des refus de meilleur valeur nutritive que l’offert (tableau 1). Ceci est cohérent et confirmé par la granulométrie des fourrages offerts et refusés. En effet, les refus de FET sont globalement constitués de particules plus grossières (tiges) que la FET offerte, alors que les refus de LUZ sont clairement constitués de particules plus fines que la LUZ offerte (tableau 1). Les chèvres ont donc clairement cherché à éviter les poussières issues des feuilles présentes en assez grande proportion dans les fourrages LUZ et MIX. Elles ont, par conséquence, sélectionné un régime de moins bonne valeur nutritive que celui offert. La LUZ, que ce soit dans l’offert ou dans les refus, a été moins riche en cis-9, cis-12, cis-15-C18:3 et plus riche en cis-9, cis-12-C18:2 (tableau 1) que la FET confirmant les données de la littérature (Boufaïed *et al.*, 2003 ; INRA, 2018). Il n’y a pas eu de différences notables entre le profil en acides gras de l’offert et du refus quel que soit le fourrage.

La composition chimique du concentré maïs a été la suivante (/kg MS) : 37 g de matières minérales, 99 g de MAT, 110 g NDF, 31 g de ADF, 5 g de ADL. La composition chimique du tourteau de soja a été la suivante (/kg MS) : 72 g de matières minérales, 496 g de MAT, 142 g NDF, 84 g de ADF, 6 g de ADL.

Comme prévu, les chèvres ont été nourries à volonté, avec un pourcentage de refus moyen de 9 %, identique entre traitements (tableau 2). L’ingestion totale de concentrés n’a pas varié entre traitements (0,82 kg MS/j), en raison de l’absence de refus. L’ingestion de fourrage déshydraté et donc l’ingestion totale ont été d’autant plus élevées que la proportion de LUZ était importante, avec +0,53 kg MS/j entre FET et LUZ.

L'ingestibilité de ces rations a été très élevée, malgré la proportion assez faible de concentré dans la ration (23 à 27 % selon les traitements) puisque l'ingestion totale de MS a atteint des valeurs très élevées, de 3,06 et 3,58 kg MS/j pour FET et LUZ, respectivement. Ces niveaux d'ingestion (4,9 à 5,8 % du poids vif) ont rarement été observés (INRA, 2018).

Le régime MIX a été parfaitement intermédiaire entre les deux autres traitements (tableau 2).

Comme espéré, les régimes ingérés n'ont pas différé sur leur teneur en MAT (174 g MAT/kg MS en moyenne). Les régimes ont été d'autant plus pauvres en NDF, mais d'autant plus riches en ADF et ADL qu'ils étaient riches en luzerne déshydratée (tableau 2).

TABLEAU 2 : Effet de la nature du fourrage déshydraté sur l'ingestion des chèvres et la composition de la ration (moyennes ajustées sur les 4 dernières semaines de l'étude, Sem 3 à Sem 6)

Table 2: Effect of the nature of the dehydrated forage on the goats'intake and the composition of the diet (adjusted means over the last 4 weeks of the study, week 3 to week 6).

Variable	FET ¹	MIX ¹	LUZ ¹	ETR	Effet traitement P<	PPDS*
Pourcentage de refus (% de MS offerte de fourrage)	8,9	9,0	9,0	1,108	0,9824	1,92
Ingestion de concentré maïs (kg MS/j)	0,57	0,63	0,69	0,002	0,0001	0,004
Ingestion de tourteau de soja (kg MS/j)	0,25	0,19	0,13	0,003	0,0001	0,005
Ingestion de fourrage déshydraté (kg MS/j)	2,24	2,46	2,77	0,092	0,0011	0,159
Ingestion totale de concentrés (kg MS/j)	0,82	0,82	0,82	0,002	0,0235	0,003
Ingestion totale (MSI, kg MS/j)	3,06	3,28	3,58	0,092	0,0011	0,160
% de concentrés dans la ration (% de MSI)	26,8	25,0	22,9	0,694	0,0011	1,20
Poids vif (kg)	62,4	61,0	61,7	0,409	0,0079	0,71
Niveau d'ingestion (% du PV)	4,90	5,39	5,81	0,126	0,0005	0,219
Teneur en MAT de la ration ingérée (g/kg MS)	172	175	174	5,924	0,7611	10,3
Teneur en NDF de la ration ingérée (g/kg MS)	402	382	363	6,956	0,0012	12,0
Teneur en ADF de la ration ingérée (g/kg MS)	194	211	236	7,368	0,001	12,7
Teneur en ADL de la ration ingérée (g/kg MS)	17	32	45	0,848	0,0001	1,5

¹FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée

*PPDS : Plus Petite Différence Significative

TABLEAU 3 : Effet de la nature du fourrage déshydraté sur la production et la composition du lait pendant les semaines expérimentales 3, 4, 5 et 6.
Table 3: Effect of the nature of the dehydrated forage on milk production and composition during experimental weeks 3, 4, 5 and 6.

Semaine Traitement ¹	Semaine 3			Semaine 4			Semaine 5			Semaine 6			P			
	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	ETR	Sem	Trai	Sem*Trai
Lait, kg/j	3,91	4,14	3,83	3,90	4,10	3,88	3,92	4,23	4,10	3,89	4,10	4,14	0,052	<0,001	0,278	<0,001
Taux butyreux, g/kg	26,3	27,1	30,3	27,0	27,8	30,5	24,7	25,7	28,5	24,7	26,6	28,6	0,40	<0,001	<0,001	0,378
Matières grasses, g/j	102	112	116	105	114	118	96	109	117	96	110	118	2,08	0,001	0,021	0,052
Taux protéique, g/kg	28,5	29,0	29,8	28,6	28,9	30,3	28,0	28,9	30,2	28,6	29,4	30,3	0,18	0,004	0,004	0,052
Matières protéiques, g/j	111	120	114	110	118	118	109	122	124	110	120	125	1,82	0,002	0,111	<0,001
Cellules, × 10 ³	1345	1537	1199	1596	1320	2704	1359	1467	836	1527	1310	1545	1282,9	0,160	0,820	0,417

¹FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée

2.2. Production et composition du lait

L'apport de luzerne déshydratée dans la ration des chèvres n'a pas eu d'effet significatif sur la production laitière bien qu'elle ait augmenté numériquement dès la semaine 3 pour le traitement MIX et à partir de la semaine 5 pour le traitement LUZ (tableau 3). Les légumineuses (trèfle violet et luzerne) permettent classiquement des productions laitières supérieures à celles des graminées (fétuque élevée et dactyle), comme conséquence d'une augmentation des quantités ingérées (Morand-Fehr et Sauvant, 1980 ; Morand-Fehr *et al.*, 2000 ; INRA, 2018). Les apports énergétiques totaux entre traitements n'ont pas été beaucoup modifiés car l'augmentation d'ingestion avec LUZ a été atténuée par une moins bonne valeur énergétique de la luzerne comparativement à la fétuque récoltée jeune (INRA, 2018), les rations demeurant cependant iso-protéiques. Ceci peut expliquer la relative faible variation de production laitière comparativement à celle de l'ingestion.

Un niveau d'apport énergétique plus élevé entraîne normalement une plus grande production de lait par l'animal, ce lait contenant moins de matières grasses (Morand-Fehr *et al.*, 2000 ; Schmidely *et al.*, 1999). Les taux butyreux et protéique du lait ont augmenté de manière linéaire avec l'accroissement de l'apport de luzerne dans la ration et ce dès la semaine 3. Ce résultat n'a pas été décrit dans la littérature lorsqu'un fourrage est remplacé par un autre. Les variations d'apport énergétique et azoté sont souvent étudiées via l'apport de concentré, et il est souvent rapporté dans ce cas une diminution du taux butyreux et peu ou pas de variation du taux protéique lorsque la quantité de concentré augmente (INRA, 2018).

La production de matières grasses a augmenté significativement dès la semaine 3 pour les traitements MIX et LUZ. Par contre, l'apport de luzerne déshydratée n'a pas eu d'effet significatif sur la production de protéines, bien qu'elle ait augmenté numériquement dès la semaine 3 pour le traitement MIX et à partir de la semaine 5 pour le traitement LUZ. L'apport de luzerne déshydratée n'a pas eu d'effet sur les cellules du lait.

2.3. Composition fine du lait

Le traitement LUZ a entraîné une augmentation de la teneur en MAT, en azote non protéique, en protéines, en caséines et en urée du lait (tableau 4). Il est difficile d'expliquer cette augmentation de la synthèse des différentes fractions protéiques, puisque, chez la chèvre, les facteurs de variation du taux protéique du lait sont très mal connus, et ne dépendent pas des apports énergétiques comme c'est le cas chez les vaches laitières (INRA, 2018). De la même façon, les effets spécifiques potentiels de certains acides aminés limitants sont inconnus chez la chèvre (INRA, 2018), et les seuils connus chez la vache pour la lysine ou la méthionine ne peuvent être considérés comme valides chez la chèvre. De plus, les rations étaient toutes bien pourvues en protéines (172 g MAT/kg MS en moyenne), et il n'est donc pas possible de faire l'hypothèse d'un déficit en AA avec FET. En revanche, d'après Kolenc *et al.* (2020), la fraction de luzerne non dégradable dans le rumen est riche en lysine, tyrosine et acide aspartique, ce qui influencerait fortement la quantité de caséine α s1 dans le lait. L'augmentation de la teneur en urée pourrait être liée à la différence de dégradabilité ruminale de l'azote entre FET et LUZ, les apports azotés totaux ayant été identiques entre régimes (Caillat *et al.*, 2016 ; INRA, 2018). Le traitement LUZ n'a cependant pas eu d'effet sur la teneur en protéines solubles du lait, ni sur le ratio caséines sur protéines. Le traitement MIX a eu des résultats intermédiaires entre FET et LUZ.

TABEAU 4 : Effet de la nature du fourrage déshydraté sur la composition des différentes fractions protéiques, le diamètre des globules gras et des caséines et sur les minéraux du lait en semaines 3 et 6.

Table 4: Effect of the nature of the dehydrated forage on the composition of the different protein of milk, on milk fat globules and milk casein micelles diameters and on milk minerals in weeks 3 and 6.

Semaine	Semaine3			Semaine 6				P		
Traitement ¹	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	ETR	Sem	Trai	Sem*Trai
Matières azotées totales, g/kg	32,6	33,0	34,6	32,2	33,3	35,7	0,47	0,149	<0,001	0,038
NPN ² , g/kg	2,49	2,66	3,00	2,31	2,59	2,89	0,05	<0,001	<0,001	0,281
Protéines, g/kg	30,2	30,4	31,6	29,9	30,7	32,8	0,47	0,049	<0,001	0,040
NCN ² , g/kg	7,81	8,13	8,73	8,08	8,81	9,25	0,25	<0,001	0,002	0,359
Caséines, g/kg	24,8	24,9	25,9	24,2	24,5	26,4	0,46	0,481	0,001	0,068
Protéines solubles, g/kg	5,36	5,48	5,69	5,91	6,16	6,32	0,25	<0,001	0,278	0,895
Urée, mg/L	508	527	656	482	545	651	21,8	0,688	<0,001	0,249
Ratio caséines/protéines, %	82,2	82,0	82,1	80,2	80,0	80,9	0,70	<0,001	0,742	0,522
Diamètre des globules gras ³ , µm	3,55	3,45	3,57	3,52	3,30	3,51	0,075	0,023	0,089	0,377
Diamètre des micelles de caséines ³ , nm	163	158	168	157	158	176	9,7	0,934	0,077	0,487
Calcium total, mg/kg	1025	1036	1068	1060	1067	1111	19,3	<0,001	0,114	0,886
Calcium soluble, mg/kg	271	295	315	249	291	300	7,5	<0,001	<0,001	0,132
Calcium colloïdal, mg/kg	753	744	751	810	780	808	17,3	<0,001	0,620	0,471
Rapport Ca colloïdal /caséines, mg/g	30,4	30,0	29,2	33,6	31,8	30,6	0,93	<0,001	0,160	0,240
Phosphore total, mg/kg	713	797	853	839	857	894	42,3	<0,001	0,052	0,209
Phosphore soluble, mg/kg	209	220	200	222	233	221	15,4	0,042	0,661	0,881
Phosphore colloïdal, mg/kg	496	584	653	609	631	673	43,0	0,006	0,013	0,181
Citrate, g/L	0,65	0,65	0,85	0,56	0,71	0,89	0,052	0,978	<0,001	0,041

¹FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée
²NPN : Azote non protéique, NCN : azote non caséinique
³diamètre : $d_{4,3} = \frac{\sum(N_i \times d_i^4)}{\sum(N_i \times d_i^3)}$, N_i nombre de particules (globules gras ou caséines) de diamètre d_i

Le diamètre des globules gras a eu tendance à être plus petit avec le traitement MIX et celui des micelles de caséines a eu tendance à être plus grand avec le traitement LUZ surtout en semaine 6 (tableau 4 et tableau S1). Des globules gras plus petits permettent une meilleure répartition de la matière grasse dans le réseau protéique des fromages (Michalski *et al.*, 2003). Par contre, des micelles de caséine plus grosses ne sont pas très favorables à la transformation fromagère (Remeuf *et al.*, 1989).

Le calcium soluble et le phosphore colloïdal ont augmenté parallèlement à l'élévation de l'apport de luzerne déshydratée. Le calcium total et colloïdal, le phosphore total et soluble n'ont pas été modifiés. Le citrate a augmenté significativement avec le traitement LUZ (tableau 4).

TABLEAU 5 : Effet de la nature du fourrage déshydraté sur la composition des laits en acides gras (%) pendant les semaines 3 et 6.

Table 5: Effect of the nature of the dehydrated forage on milk fatty acid composition (%) during weeks 3 and 6.

Semaine Traitement ¹	Semaine 3			Semaine 6			P			
	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	ETR	Sem	Trai	Sem*Trai
C14:0, %	11,5	11,9	11,9	12,2	12	12,3	0,1771	<0.001	0,639	0,032
C16:0, %	23,0	25,3	28,3	23,4	25,9	28,9	0,3243	0,002	<0.001	0,871
C18:0, %	9,18	7,41	6,10	8,11	6,83	5,57	0,2471	<0.001	<0.001	0,143
Total trans-C18:1, %	2,79	2,55	2,17	2,72	2,49	2,02	0,0745	0,014	<0.001	0,521
cis-9-C18:1, %	16,0	14,2	12,4	15,7	13,5	11,9	0,3059	<0.001	<0.001	0,647
Total cis-C18:1, %	16,6	14,7	12,9	16,2	14,0	12,3	0,3136	<0.001	<0.001	0,712
cis-9,cis-12-C18:2, %	2,07	2,40	2,55	2,00	2,35	2,56	0,0725	0,34	<0.001	0,575
cis-9,trans-11-C18:2, %	0,834	0,690	0,592	0,945	0,760	0,587	0,0298	<0.001	<0.001	0,007
C18:3 n-3, %	1,111	0,846	1,030	1,100	0,973	1,020	0,0501	0,13	0,005	0,040
Acides gras saturés, %	72,6	75,0	76,8	73,0	75,6	77,3	0,4394	0,017	<0.001	0,966
Acides gras mono-insaturés, %	20,8	18,8	16,7	20,4	18,0	16,1	0,3476	<0.001	<0.001	0,677
Acides gras poly-insaturés, %	5,23	5,00	5,17	5,28	5,16	5,18	0,1602	0,335	0,679	0,713
Acides gras omega 3 (n-3), %	1,42	1,05	1,26	1,41	1,22	1,26	0,0567	0,058	<0.001	0,019
Acides gras omega 6 (n-6), %	2,48	2,78	2,93	2,39	2,73	2,94	0,0836	0,229	<0.001	0,537
Acides gras trans, %	3,57	3,27	2,76	3,48	3,19	2,60	0,0976	0,024	<0.001	0,749
cis-9-C14:1 / C14:0	0,0128	0,0139	0,0143	0,0150	0,0147	0,0155	0,0000	<0.001	0,305	0,072
cis-9-C16:1 / C16:0	0,0186	0,0179	0,0171	0,0185	0,0176	0,0174	0,0000	0,989	0,335	0,627
cis-9-C18:1 / C18:0	1,773	1,921	2,065	1,937	1,985	2,180	0,0606	<0.001	0,013	0,374
Ratio omega 6/omega 3	1,754	2,676	2,377	1,688	2,245	2,370	0,0638	<0.001	<0.001	<0.001

¹FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée.

Le profil en acides gras a été modifié par l'apport de luzerne déshydratée (tableau 5 et tableau S2). Il correspond aux valeurs rapportées par Menci *et al.* (2022) avec des granulés de luzerne. L'apport croissant de luzerne déshydratée s'est traduit par une augmentation linéaire des acides gras saturés associée à une diminution linéaire des acides gras mono-insaturés sans effet sur les acides gras poly-insaturés. Morand-Fehr *et al.* (2000) ont rapporté que la composition en acides gras du lait de chèvre reflète dans une certaine mesure la composition des matières grasses dans l'alimentation, malgré les processus d'hydrogénation et d'isomérisation auxquels les acides gras peuvent être soumis dans le rumen. Parmi les acides gras saturés, les acides gras impairs C15:0 et C17:0, le C16:0 ont augmenté avec l'accroissement de la part de luzerne déshydratée dans la ration. Le C15:0 et le C17:0 du lait sont des biomarqueurs potentiels du fonctionnement du rumen, car ils se trouvent dans les lipides bactériens du rumen et peuvent être partiellement synthétisés de manière endogène à

partir des substrats du rumen dans la glande mammaire (Fievez *et al.*, 2012 ; Vlaeminck *et al.*, 2015). Les différences constatées entre les traitements (teneurs plus élevées de ces acides gras dans le lait avec LUZ) suggèrent un métabolisme bactérien amylolytique du rumen (Criscioni *et al.*, 2016). Les concentrations de C15:0 dans le lait et la somme de C17:0 et cis-9 C17:1 sont positivement liées à la concentration en propionate dans le rumen, car ces acides gras sont synthétisés de novo à partir du propionate dans la glande mammaire (Castro-Montoya *et al.*, 2011). Le C18:0 a diminué significativement avec l'accroissement de la part de luzerne déshydratée dans la ration. Parmi les acides gras mono-insaturés, tous les acides gras C18:1 de forme cis et trans ont diminué, en particulier le cis-9-C18:1, le trans-10-C18:1, le trans-11-C18:1. Parmi les acides gras poly-insaturés, le cis-9,cis-12-C18:2 a augmenté, tandis que le cis-9, trans-11-C18:2 a diminué, ainsi que le C18:3 n-3 (surtout avec le traitement MIX).

La composition en acides gras de la fétuque et de la luzerne sont différentes. La luzerne contient plus de C18:2 (22,1 vs 11,5 %, moyennes semaines 3 et 6) et moins de C18:3 (30,0 vs 46,4 %, moyennes semaines 3 et 6) que la fétuque (tableau 1). Cette différence de composition des 2 fourrages déshydratés pourrait expliquer les différences au niveau du profil en acides gras des laits. Le ratio cis-9-C18:1 / C18:0 est augmenté par l'apport de luzerne, ainsi que le ratio oméga 6 / oméga 3 surtout avec le traitement MIX.

2.4. Aptitude fromagère

Le pH du lait a eu tendance à être plus faible avec MIX et LUZ. Le temps de coagulation du lait n'a pas été modifié par l'apport de luzerne. Le rendement fromager de laboratoire de type présure en frais a été significativement plus élevé avec MIX et surtout LUZ en semaine 6 (tableau 6). Cette augmentation du rendement est associée à un taux de matières utiles plus élevé (Hurtaud et al., 2001).

Le rendement fromager de laboratoire de type lactique n'a pas été modifié. L'apport de luzerne a entraîné une augmentation de la teneur en matière sèche du lait, mais n'a pas eu d'effet sur la teneur en matière sèche des lactosérums présure ou lactique. Les rendements en matière sèche (présure ou lactique) n'ont pas été modifiés.

TABLEAU 6 : Effet de la nature du fourrage déshydraté sur l'aptitude fromagère des laits pendant les semaines 3 et 6.

Table 6: Effect of the nature of the dehydrated forage on cheese-making ability of milk during weeks 3 and 6.

Semaine Traitements ¹	Semaine 3			Semaine 6			P			
	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	ETR	Sem	Trai	Sem*Trai
pH	6,63	6,52	6,57	6,66	6,57	6,58	0,02	0,068	0,054	0,642
Temps de coagulation, min	2,00	2,75	4,11	5,3	5,13	4,56	0,94	0,013	0,217	0,208
Rendement fromager présure en frais, %	16,2	17,8	18,0	16,5	17,6	18,3	0,51	0,704	0,028	0,758
Rendement fromager lactique en frais, %	22,7	23,1	24,1	22,8	25,2	24,3	1,31	0,365	0,478	0,571
MS lait, %	10,7	11,1	11,6	10,7	11,0	11,7	0,11	0,783	0,004	0,518
MS lactosérum présure, %	6,16	6,16	6,49	6,16	6,30	6,52	0,03	0,020	0,128	0,048
MS lactosérum lactique, %	6,39	6,49	6,67	6,55	6,70	6,9	0,15	0,081	0,231	0,948
Rendement fromager en MS présure, %	52,2	54,7	53,5	52,6	53,2	53,8	0,75	0,582	0,174	0,227
Rendement fromager en MS lactique, %	54,8	55,6	54,9	54,0	55,0	54,0	1,29	0,343	0,684	0,990

¹FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée

L'analyse des données brutes a mis en évidence plutôt un effet « semaine » lié au calage des fabrications (tableau 7). L'analyse sensorielle n'a pas permis de discriminer les traitements alimentaires malgré quelques effets significatifs de la luzerne : fromages moins fermes et plus fondants surtout en semaine 6 et plus acides en semaine 7 (tableau 8). Le traitement LUZ semble avoir produit des faisselles avec une persistance globale en bouche plus importante, probablement liée à la saveur acide. Les notes attribuées aux produits sont restées relativement faibles (inférieures à 6). Les effets sur le fondant et la fermeté sont difficiles à expliquer car paradoxalement, le lait est plus riche en acides gras saturés qui ont un point de fusion plus élevé (Smet *et al.*, 2010). Il en est de même pour l'acidité : les faisselles LUZ ont eu un pH un peu plus faible en semaine 7 (mais non différent de FET), mais pas en semaine 6.

3. Conclusion

Le remplacement de la fétuque déshydratée par la luzerne déshydratée comme fourrage principal dans l'alimentation des chèvres a entraîné une augmentation de l'ingestion, sans grand effet sur la production laitière brute, mais a permis une augmentation des taux butyreux et protéique, une amélioration de la composition du lait et de meilleurs rendements fromagers en frais (mesurés en laboratoire). Le régime MIX a eu des effets intermédiaires. L'intérêt économique résultant de l'équilibre entre les variations d'ingestion, de production, de composition du lait et du rendement fromager reste à évaluer.

TABEAU 7 : Effet de la nature du fourrage déshydraté sur les paramètres de fabrication des faisselles pendant les semaines 6 et 7.

Table 7: Effect of the nature of the dehydrated forage on the manufacturing parameters of the faisselle-type cheeses during weeks 6 and 7.

Semaine Traitement ¹	Semaine 6			Semaine 7			Semaine 9 (post-expérience)		
	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ
Lait mis en fabrication									
pH	6,77	6,79	6,78	6,71	6,81	6,74	6,70	6,76	6,71
Acidité Dornic, °D	14	14	13	14	13	13	12	12	12
Extrait sec total, %	10,3	10,6	11,0	10,4	10,8	11,0	10,5	10,5	10,0
Faisselles									
Rendement, %	43,0	43,9	44,3	39,2	39,4	38,0	40,0	40,4	44,4
Extrait sec final, %	16,6	16,5	15,0	15,6	15,5	17,0	15,6	19,0	14,0
pH final	4,41	4,41	4,41	4,34	4,42	4,33	4,38	4,35	4,38

¹FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée

TABEAU 8 : Effet de la nature du fourrage déshydraté sur l'analyse sensorielle des faisselles en semaines 6 et 7.

Table 8: Effect of the nature of the dehydrated forage on the sensory analysis of the faisselle-type cheese in weeks 6 and 7.

Semaine Traitement ¹	Semaine 6			Semaine 7			P			
	FET	MIX	LUZ	FET	MIX	LUZ	ETR	Sem	Trai	Sem*Trai
Intensité de la couleur	3,45	3,17	3,53	2,84	2,69	3,10	0,310	0,016	0,273	0,915
Intensité de l'odeur globale	2,88	2,86	3,30	2,77	2,69	3,10	0,462	0,533	0,345	0,988
Fermeté	4,70	4,46	2,84	4,04	3,78	3,65	0,455	0,507	0,008	0,044
Granulosité	2,21	2,36	1,41	1,76	1,67	2,19	0,328	0,523	0,582	0,008
Onctuosité	5,37	5,08	6,45	5,88	5,51	5,65	0,611	0,894	0,223	0,242
Texture fondante	5,92	5,16	7,21	5,62	5,53	5,68	0,555	0,152	0,031	0,065
Intensité globale du goût	4,23	3,77	4,41	3,32	3,93	4,22	0,351	0,135	0,070	0,092
Saveur acide	3,41	3,43	3,87	2,39	2,64	3,29	0,299	0,001	0,009	0,570
Saveur amère	2,62	2,58	2,84	2,30	2,15	2,34	0,352	0,062	0,657	0,931
Persistance globale du goût	3,20	3,07	3,67	2,82	3,17	3,75	0,352	0,741	0,023	0,539

¹FET : 100 % fétuque déshydratée, MIX : 50 % fétuque et 50 % luzerne déshydratée, LUZ : 100 % luzerne déshydratée

Remerciements

Les auteurs remercient la Coopération Agricole Luzerne de France et la Région Bretagne pour le financement de ce projet. Ils remercient également le personnel de la ferme Expérimentale de l'IEPL au Rheu, en particulier son responsable, P. Lamberton, les techniciens qui se sont occupés des chèvres, A. Eveno, J. Parois et J. Y. Thébault et les techniciennes de laboratoire N. Huchet et C. Perrier de l'UMR INRAE-L'Institut Agro PEGASE.

Références bibliographiques

Bluet B., Caillat H., Boyer C., Puillet L., Fança B., Delagarde R. (2024). Impacts des modalités de distribution des fourrages sur leur valorisation chez la chèvre laitière : une approche combinée entre acteurs du terrain et de la recherche. *Renc. Rech. Rumin.*, 501-504.

Association Française de Normalisation (AFNOR) (1977). NF V18-101 Aliments des animaux - Dosage des cendres brutes.

Association Française de Normalisation (AFNOR) (2008). NF EN ISO 16634 Produits alimentaires – Détermination de la teneur en azote total par combustion selon le principe de Dumas et calcul de la teneur en protéines brutes – Partie 1 : graines oléagineuses et aliments des animaux.

Boufaïed H., Chouinard P.Y., Tremblay G.F., Petit H.V., Michaud R., Bélanger G. (2003). Fatty acids in forages. I Factors affecting concentrations. *Can. J. Anim. Sci.*, 83, 501-511

Caillat H., Bossis N., Jost J., Pierre P., Legarto J., Lefrileux Y., Delagarde R. (2016). Les légumineuses dans les systèmes caprins : quelles espèces pour quelles valorisations ? *Fourrages*, 227, 199-206

Castro-Montoya J., Bhagwat A.M., Peiren N., De Campeneere S., De Baets B., Fievez V. (2011). Relationships between odd- and branched-chain fatty acid profiles in milk and calculated enteric methane proportion for lactating dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 166, 596-602. <http://doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.080>

Criscioni P., Martib J.V., Pérez-Baena I., Palomares J.L., Larsen T., Fernández C. (2016). Replacement of alfalfa hay (Medicago sativa) with maralfalfahay (Pennisetum sp.) in diets of lactating dairy goats. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 219, 1-12 <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.020>

Fievez V., Colman E., Castro-Montolla J.M., Stefanov I., Vlaeminck B. (2012). Milk odd- and branched-chain fatty acids as biomarkers of rumen function—an update. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 172, 51-65. <http://doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.12.008>

France Agrimer (2022). La consommation de produits laitiers en 2021. 110 pp.

Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.

Goetsch A.L., Zeng S.S., Gipson T.A. (2011). Factors affecting goat milk production and quality. *Small Rumin. Res.*, 101, 55-63. <http://doi:10.1016/j.smallrumres.2011.09.025>

Hurtaud C., Bernard L., Rau A., Cebo C. (2024). Impact of milking interval and time on milk spontaneous lipolysis and composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* Sous presse. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24958>

Hurtaud C., Buchin S., Martin B., Verdier-Metz I., Peyraud J.L., Noël Y. (2001). La qualité des laits et ses conséquences sur la qualité des produits de transformation : quelques techniques de mesure dans les essais zootechniques. *Renc. Rech. Ruminants*, 8, 35-42.

Hurtaud C., Rulquin H., Delaite M., Vérité R. (1995). Appréciation de l'aptitude fromagère des laits de vaches individuels. Tests d'aptitude fromagère et rendement fromager de fabrication. *Ann. Zoot.*, 44, 385-398.

Idele (2022). Résultats du contrôle laitier 2021. <https://idele.fr/detail-article/resultats-de-contrôle-laitier-france-2021>

Inglingstad R.A., Steinshamn H., Dagnachew B.S., Valenti B., Criscione A., Rukke E.O., Devold T.G., Skeie S.B., Vegarud G.E. (2014). Grazing season and forage type influence goat milk composition and rennet coagulation properties. *J. Dairy Sci.*, 97, 3800-3814. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7542>

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) (2018). Alimentation des ruminants. Editions Quae, Versailles, France, 728 pp

Kolenc B., Mohar Lorbeg P., Čanžek Majhenič A., Cividini A., Simčič M., Treven P. (2020). Influence of two feed supplements on technological properties of goat's milk. *Mljekarstvo*, 70, 162-170

Menci R., Martin B., Werne S., Bord C., Ferlay A., Lèbre A., Leiber F., Klaiss M., Coppa M., Heckendorn F. (2022). Supplementing goats' diet with sainfoin pellets (versus alfalfa) modifies cheese sensory properties and fatty acid profile. *Int. Dairy J.*, 132, 105398. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105398>

Michalski M.C., Gassi J.Y., Famelart M.H., Leconte N., Camier B., Michel F., Briard V. (2003). The size of native milk fat globules affects physico-chemical and sensory properties of Camembert cheese. *Lait*, 83, 131-143

Morand-Fehr P., Sauvant D. (1980). Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. *J. Dairy Sci.*, 63, 1671-1680

Morand-Fehr P., Sanz Sampelayo M.R., Fedele Y.V., Le Frileux Y., Eknaes M., Schmidely P., Giger Reverdin S., Bas P., Rubino R., Havrevoll Ø., Sauvant D. (2000). Effect of feeding on the quality of goat milk and cheeses. *Proc. Seventh International Conference on Goats*, pp. 53-58.

NF EN ISO 12966. Corps gras d'origines animale et végétale — Chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras.

Pien J. (1969). Dosage du phosphore dans le lait. *Lait*, 49:175-188.

Remeuf F., Lenoir J., Duby C. (1989). Etude des relations entre les caractéristiques physico-chimiques des laits de chèvre et leur aptitude à la coagulation par la présure. *Lait*, 69, 499-518

Schmidely P., Lloret Pujol M., Bas P., Rouzeau A., Sauvant D. (1999). Influence of feed intake and source of dietary carbohydrate on milk yield and composition, nitrogen balance, and plasma constituents of lactating goats. *J. Dairy Sci.*, 82, 747-755.

Smet K., Coudijzer K., Fredrick E., De Campeneere S., De Block J., Wouters J., Raes K., Dewettinck K. (2010). Crystallization behavior of milk fat obtained from linseed-fed cows. *J. Dairy Sci.*, 93, 495-505. doi:10.3168/jds.2009-2588

Van Soest P.V., Robertson J., Lewis B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74, 3583-3597.

Vlaeminck B., Gervais R., Rahman M.M., Gadeyne F., Gorniak M., Doreau M., Fievez V. (2015). Postprandial synthesis modifies the odd- and branched-chain fatty acid profile from the duodenum to milk. *J. Dairy Sci.*, 98, 4829-4840. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9207>