



HAL
open science

Impacts de l'ordre de distribution des fourrages sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières en milieu de lactation

Elisa Deschamps

► **To cite this version:**

Elisa Deschamps. Impacts de l'ordre de distribution des fourrages sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières en milieu de lactation. *Agronomie*. 2023. dumas-04334542

HAL Id: dumas-04334542

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04334542v1>

Submitted on 11 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome

Option : Systèmes d'élevage

Impacts de l'ordre de distribution des fourrages sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières en milieu de lactation



Par Elisa DESCHAMPS

Année de soutenance : 2023

Organisme d'accueil : INRAE Saint Gilles, UMR PEGASE, équipe SYSTELL

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome

Option : Systèmes d'élevage

Impacts de l'ordre de distribution des fourrages sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières en milieu de lactation



Par Elisa DESCHAMPS

Année de soutenance : 2023

Mémoire préparé sous la direction de

Magali JOUVEN

Présenté le : **19/09/23**

devant le jury :

Denis BASTIANELLI (rapp. extérieur)

Rémy DELAGARDE (maître de stage)

Claire MANOLI (rapp. formation)

Magali JOUVEN (tutrice pédagogique)

Organisme d'accueil :

INRAE Saint- Gilles, UMR PEGASE

Maître de stage :

Rémy DELAGARDE

RÉSUMÉ

Les élevages caprins laitiers sont caractérisés par une faible autonomie alimentaire et protéique qui les rend vulnérables notamment en raison de la volatilité du prix des matières premières. Dans ce contexte, miser sur la valorisation des fourrages afin de diminuer la dépendance aux intrants extérieurs semble être une stratégie efficace. Cependant, les connaissances sur l'impact des pratiques de distribution - en particulier de l'ordre de distribution des fourrages - sur les performances et le comportement alimentaire des chèvres laitières doivent être mieux quantifiées. Deux essais sur l'ordre de distribution ont été réalisés dans le cadre du projet MaxForGoat en 2023. Ils ont porté sur 48 chèvres Alpines en milieu de lactation réparties dans 4 lots de 12 chèvres et 2 associations de fourrages (bon foin de luzerne vs mauvais foin de luzerne et herbe verte vs foin de graminées). La distribution du fourrage a eu lieu le matin ou le soir, selon un schéma en inversion avec 4 périodes de 14 jours. Les chèvres ont reçu individuellement 300 g de MS de concentré deux fois par jour, lors de chaque traite. L'ingestion et le comportement alimentaire des chèvres (Scan sampling) ont été suivis à l'échelle du lot tandis que la production laitière et le poids vif a pu être suivie à l'échelle individuelle. Cette étude a montré que l'ingestion des fourrages – quel que soit le fourrage - a été plus élevée lorsque ceux-ci ont été distribués le soir plutôt que le matin (+35% en moyenne). Ces essais ont également montré que les chèvres sont tout à fait capables d'exprimer des préférences relatives très quand les fourrages sont distribués de manière asynchrone (jour/nuit). Ce qui a permis d'établir que l'ingestion totale et la production laitière ont tendance à augmenter quand le fourrage préféré par les chèvres est distribué le soir.

Mots clés : chèvre laitière, alimentation, foin, herbe, ordre de distribution, comportement, performances

Pour citer ce document : Deschamps, Elisa, 2023. Impact de l'ordre de distribution des fourrages sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières en milieu de lactation. Mémoire de fin d'études ingénieur Agronome, option Systèmes d'élevage, L'Institut Agro Montpellier. 85p

ABSTRACT

Dairy goat farming systems are characterized by a low level of feed and protein self-sufficiency, making them particularly vulnerable due to the volatility in raw material prices. In this context, focusing on forage valorization to reduce reliance on external inputs appears to be an effective strategy. However, our knowledge about the impact of feeding practices - especially the order of forage distribution - on the performance and feeding behavior of dairy goats needs to be improved. Two trials focusing on the forage distribution order were conducted within the framework of the MaxForGoat project in 2023. These trials involved 48 Alpine goats in mid-lactation, divided into 4 groups of 12 goats each, and 2 forage associations (good alfalfa hay vs poor alfalfa hay, and green grass vs grass hay). Forage distribution occurred either in the morning or the evening, following an inversion scheme during 4 periods of 14 days. Each goat individually received 300 g of dry matter concentrate twice a day, during each milking session. Goat intake and feeding behavior (scan sampling) were monitored at the group level, while milk production and body weight were tracked at the individual level. This study demonstrated that forage intake – no matter the type of forage - was higher when distributed in the evening compared to the morning (+35% on average). These trials also revealed that goats are fully able to express relative preferences when forages are distributed asynchronously (day/night). This allowed us to establish that total intake and milk production tend to increase when the goats' preferred forage was distributed in the evening.

Keywords: dairy goat, feeding, hay, grass, distribution order, behaviour, performance

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier vivement mon maître de stage, Rémy DELAGARDE pour son encadrement, ses conseils, sa bienveillance et sa pédagogie qui m'ont permis d'approfondir mes connaissances et de mener à bien ce travail dans les meilleures conditions.

Je remercie également Magali JOUVEN, ma tutrice pédagogique, pour sa disponibilité, ses conseils et ses relectures qui m'ont permis de réaliser ce mémoire.

Je remercie Nadège EDOUARD et tous les membres de l'équipe SYSTELL de m'avoir accueillie et de m'avoir permis de m'épanouir, d'apprendre et d'échanger sur des sujets variés, et ce, toujours dans la bonne humeur 😊

Je remercie les membres de l'équipe de la chèvrerie de la ferme expérimentale de Méjusseume (Jean PAROIS, François DEMAY, Ségolène NOIREAU, Jean-Yves THEBAULT et Jean-Luc HAREL) pour leur accompagnement et leur soutien durant ces 3 mois d'expérimentation.

Je remercie également Ophélie DHUMEZ et Philippe LAMBERTON pour leur accueil, leur disponibilité et leur suivi des expérimentations à la ferme.

Je tiens aussi à remercier Stéphanie GIBOULOT et Nicole HUCHET, qui ont réalisé les analyses au laboratoire de mes échantillons.

Enfin, je remercie mes 2 fidèles collègues stagiaires, avec qui j'ai pu partager une partie de ce stage, Clotilde et Ombeline et qui ont contribué à rendre cette expérience encore plus épanouissante.

GLOSSAIRE

Cinétique journalière des activités : Représentation (pas de temps : 1 h) de la répartition des activités des chèvres laitières au cours d'une journée (de la distribution le matin du jour J au retrait des refus le matin du jour J+1).

Comportement alimentaire : Ensemble des actions réalisées par un animal ayant pour finalité la recherche, le choix et l'ingestion des aliments en quantité adaptée à la satisfaction de ses besoins énergétiques et nutritionnels » (Jean-Blain, 2002).

Palatabilité : Ensemble des caractéristiques physiques et chimiques d'un aliment qui agissent sur l'appétit de l'animal et impliquent des réponses sensorielles (Jarrige, 1988).

Période : Pour cette étude, séquence de 14 jours durant laquelle les chèvres d'un lot subissent le même traitement - ici le même ordre de distribution des fourrages.

Période de référence : Pour cette étude, séquence de 14 jours, ayant lieu avant le début de l'expérimentation, afin de collecter des données sur les chèvres (stade de lactation, poids, production laitière, TB, TP...) pour réaliser la mise en lot.

Pratique de distribution : Mode de distribution des aliments à l'auge comprenant le nombre de distributions, l'ordre de distribution et la gestion des refus.

Schéma en inversion : Schéma expérimental qui consiste à appliquer tous les traitements à chacun des lots. Généralement les traitements sont répétés (exemple : A-B-A-B) pour permettre davantage de puissance statistique lors de l'analyse des résultats.

Temps d'accès à un fourrage : Temps durant lequel un fourrage est présent et accessible dans l'auge (de sa distribution au retrait des refus).

SIGLES ET ACRONYMES

ADF	Acid Detergent Fibre, lignocellulose : dosée selon la méthode Van Soest (g/kg MS)
ADL	Acid Detergent Lignin, lignine : dosée par la méthode Van Soest (g/kg MS)
ANOVA	ANalysis Of Variance
BPR	Balance Protéique du Rumen
dMO	Digestibilité de la Matière Organique (g/kg MS)
DCS	Digestibilité pepsine CelluSe (g/kg MS)
CI	Capacité d'Ingestion (kg)
ETR	Ecart Type Résiduel
GAC	Groupe national d'Alimentation Caprine
Ha	Hectare
IDELE	Institut De L'ELEVage
IEPL	Installation Expérimentale en Production Laitière de l'UMR PEGASE
INRAE	Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
MAT	Matières Azotées Totales (g/kg MS)
MG	Matières Grasses ¹ (g/j)
MM	Matières Minérales (g/kg MS)
MO	Matière Organique (g/kg MS)
MP	Matières Protéiques ² (g/j)
MS	Matière Sèche (kg)
MSI	Matière Sèche ingérée (kg MS/ch/j)
N	Azote
NDF	Neutral Detergent Fibre : ensemble des glucides membranaires ou pariétaux (hémicellulose + cellulose + lignine) dosés selon la méthode Van Soest (g/kg MS)
PDI	Protéines Digestibles dans l'Intestin
PEGASE	Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage
PL	Production de Lait brute (kg/j)
PV	Poids Vif (kg)
TB	Taux Butyreux du lait (g/kg)
T	Température (°C)
TA	Temps d'accès (min)
TP	Taux Protéique du lait (g/kg)
TMS	Teneur en Matière Sèche (g/kg ou %)
THI	Temperature Humidity Index
UE	Unité d'Encombrement
UF	Unité Fourragère
U	Humidité (%)
UMR	Unité Mixte de Recherche
VI	Vitesse d'Ingestion (g MS/h)

¹ Production journalière de matières grasses.

² Production journalière de matières protéiques.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Démarche de calcul de la valeur alimentaire des fourrages à base d'herbe (adapté de INRA, 2018 par IDELE	56
Annexe 2 : Caractéristiques individuelles des chèvres laitières à la mise en lot	57
Annexe 3 : Evolution de la matière sèche ingérée en fonction de la matière sèche offerte (L2307 en haut et L2306 en bas)	58
Annexe 4 : Evolution des productions laitières des chèvres laitières 19213 et 21037 au cours des essais	59
Annexe 5 : Données météorologiques (station météo de la ferme expérimentale) durant les essais et évolution du THI	60
Annexe 6 : Effets de l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne sur l'ingestion des chèvres laitières en prenant en compte l'effet jour	61
Annexe 7 : Effets de l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne sur le comportement alimentaire des chèvres laitière en prenant en compte l'effet jour	61
Annexe 8 : Effets de l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées sur l'ingestion des chèvres laitières en prenant en compte l'effet jour	62
Annexe 9 : Effet de l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées sur le comportement alimentaire des chèvres laitière en prenant en compte l'effet jour	62
Annexe 10 : Cinétique journalière du temps passé couché par les chèvres laitières selon l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne	63
Annexe 11 : Cinétique journalière du temps passé couché par les chèvres laitières selon l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées	63
Annexe 12 : Bilan des essais sur la réduction du temps d'accès à l'auge chez les bovins laitiers (Ingrand, 2000).....	64
Annexe 13 : Evolution de la teneur en MS de l'herbe offerte et refusée	64
Annexe 14 : Effet de l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne sur l'ingestion des chèvres laitières (4 périodes)	65
Annexe 15 : Comparaison de la teneur en MAT des fourrages offerts et refusés.....	65

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	
ABSTRACT	
REMERCIEMENTS	
GLOSSAIRE.....	
SIGLES ET ACRONYMES	
LISTE DES ANNEXES.....	
SOMMAIRE	
INTRODUCTION.....	1
CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE	3
I. La production caprine laitière mondiale	3
II. Les caractéristiques intrinsèques des chèvres laitières	4
III. Les spécificités de l'élevage caprin laitier en France.....	5
IV. L'alimentation des chèvres laitières en France	6
1. Les éléments génériques sur l'alimentation des chèvres laitières.....	6
2. Les fourrages utilisés pour l'alimentation des chèvres	7
3. De nombreuses pratiques de distribution des fourrages	9
4. Le comportement alimentaire de tri chez la chèvre laitière.....	11
V. Le projet MaxForGoat.....	12
1. Les objectifs et les partenaires	12
2. Les essais réalisés et en cours	14
PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DU STAGE	16
MATERIELS ET METHODES	17
I. Le dispositif expérimental	17
1. La ferme expérimentale	17
2. Traitements expérimentaux	17
3. Schéma expérimental.....	18
4. Origine des fourrages.....	19
5. Animaux expérimentaux.....	19
II. Conditions expérimentales	21
1. Gestion de la phase pré-expérimentale	21
2. Gestion de la phase expérimentale.....	21
III. Mesures	22
1. Ingestion	23
2. Comportement alimentaire	25

3. Production laitière et poids vif.....	26
4. Analyses graphiques et statistiques	27
RÉSULTATS	29
I. Essai L2306 (Bon et mauvais foin de luzerne)	29
1. Caractéristiques des fourrages	29
2. Ingestion	30
3. Comportement alimentaire	31
4. Production laitière et poids vif.....	32
II. Essai L2307 (Herbe verte et foin de graminées)	33
1. Caractéristiques des fourrages	33
2. Ingestion	34
3. Comportement alimentaire	35
4. Production laitière et poids vif.....	36
DISCUSSION	38
I. Conditions expérimentales.....	38
II. Comparaison des performances zootechniques des chèvres dans les deux essais.....	39
III. L'ordre de distribution a fortement impacté l'ingestion de chaque fourrage.....	40
IV. L'ordre de distribution a faiblement impacté l'ingestion totale et la production laitière.....	45
V. Implications pour les systèmes d'alimentation en élevages caprins laitiers.....	46
VI. Limites méthodologiques.....	46
VII. Perspectives	48
CONCLUSION	50
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	51
ANNEXES	56

INTRODUCTION

Le changement climatique est un phénomène qui touche la quasi-totalité du globe, entraînant des conséquences telles que l'augmentation de la fréquence des sécheresses, des vagues de chaleur et de fortes précipitations à travers le globe (GIEC, 2022). Il est donc nécessaire et urgent de trouver des solutions à ce phénomène planétaire. Selon le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), nous atteindrons +1,5 °C de hausse de la température d'ici 2030, soit 10 ans plus tôt que ce qui était annoncé dans le rapport précédent (GIEC, 2018). En France, les conséquences d'une telle augmentation (+3,8 °C en 2100 par rapport au début du XX^{ème} siècle selon les prévisions) constituent déjà un problème majeur, pour les agriculteurs et les éleveurs en particulier (GIEC, 2022). En effet, les épisodes de sécheresse affectent l'autonomie fourragère des exploitations et les rendent vulnérables. L'adaptation de la conduite alimentaire du troupeau et son optimisation sont parmi les premiers leviers d'action dont disposent les éleveurs pour s'adapter.

En France, le cheptel caprin possède la particularité d'être essentiellement à vocation laitière. Cette production, localisée principalement dans l'Ouest pour le lait livré (GEB caprins laitiers, 2022), et prend la forme de systèmes d'élevage en bâtiment ayant une autonomie fourragère et protéique assez faible. En effet, la plupart des élevages caprins sont moins autonomes que les autres élevages herbivores, et ce, malgré une forte utilisation de l'herbe, principalement sous forme de foin. Ceci est notamment dû à l'augmentation des rendements laitiers, ayant entraîné une augmentation des achats d'aliments concentrés à l'extérieur de l'exploitation et rendant ces exploitations moins autonomes et plus vulnérables (Thénard et al., 2019). Cependant, ces dernières années, l'ensemble de la filière caprine évolue, en transformant les systèmes de production pour qu'ils soient plus durables, dans le but de maintenir une production de lait de chèvre en phase avec les attentes et exigences des consommateurs (Caillat et al., 2016, Jost et al., 2021). Pour réaliser des économies, certains éleveurs tendent à diminuer la quantité de fourrages distribués pour l'adapter aux besoins stricts des animaux (Ceppatelli et al., 2022). Pourtant, des études récentes suggèrent que la maximisation de la valorisation des fourrages est une solution prometteuse pour l'élevage caprin laitier, minimisant les charges liées aux achats d'aliments (Inda et al., 2019). Elle permettrait également aux éleveurs de mieux se conformer aux attentes de la chaîne d'approvisionnement (spécifications AOP...) et aux attentes plus larges de la société (proportion d'herbe dans la ration, concurrence alimentaire...). Cependant, elle pose de nouvelles questions sur la charge et l'organisation du travail des éleveurs, sur les

pratiques de distribution à mettre en place afin de maximiser la valorisation des fourrages par les chèvres et améliorer l'autonomie protéique des élevages caprins laitiers.

Aujourd'hui, il est largement admis que la gestion de la distribution de l'alimentation impacte l'ingestion et la valorisation des ressources fourragères (Bluet, 2021). Il est également admis que la chèvre est plus sélective que les autres ruminants concernant ce qu'elle ingère, et ce même dans des conditions intensives avec une alimentation à l'auge (Morand-Fehr, 2005). Or au sein des élevages caprins laitiers, il existe une diversité de pratiques d'alimentation tant au niveau des types de fourrages distribués qu'au niveau de la quantité distribuée (à volonté ou non), de la fréquence de distribution, de l'ordre de distribution et de la complémentation (Fança & Bluet, 2022). Ainsi, les impacts des modalités de distribution sur la valorisation des fourrages par les animaux sont mal documentés et ne sont pas pris en compte dans les outils actuels de calcul de ration (INRA 2018 et Prévalim), alors que les conséquences sur les résultats technico-économiques et sur la charge et l'organisation du travail pourraient être très importantes. Combler ce manque est un des objectifs du projet MaxForGoat. Porté par IDELE et INRAE (financé par France Futur Elevage (2022/2024)), ce projet est né de la réflexion du Groupe national d'Alimentation Caprine (GAC) ; il vise à mieux comprendre et décrire l'impact des pratiques (fréquence de distribution, ordre de distribution et proportion de refus) afin de revoir et d'affiner les recommandations dans le contexte actuel de l'élevage caprin.

Ce stage de fin d'études s'inscrit dans la phase expérimentale du projet MaxForGoat ; il s'agit d'étudier les effets de l'ordre de distribution des fourrages, pour différentes combinaisons de fourrages. Dans ce cadre, j'ai réalisé 2 essais avec 2 associations de fourrages différentes. L'impact a été principalement mesuré via des indicateurs de production (ingestion de matière sèche, production laitière) ainsi que des indicateurs comportementaux, permettant d'examiner les mécanismes sous-jacents à l'ingestion des fourrages et approfondir la compréhension des effets des stratégies de distribution alimentaire. Après une étude du contexte ayant mené au lancement du projet MaxForGoat et une analyse détaillée de la problématique de ce stage, nous nous attacherons à détailler la méthodologie employée lors de la phase d'expérimentation menée à la ferme expérimentale de Méjusseume (Le Rheu, <https://doi.org/10.15454/yk9q-pf68>) de l'UMR PEGASE. Ensuite, nous présenterons les résultats obtenus avant de les discuter et de conclure sur l'impact de l'ordre de distribution des fourrages utilisés au cours des expérimentations et les perspectives que cela amène pour les élevages caprins laitiers.

CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

I. La production caprine laitière mondiale

La chèvre fut le premier animal domestiqué, il y a environ dix mille ans (Colli et al., 2015). Elle a été pendant très longtemps considérée comme étant la « vache du pauvre », réputée comme un animal rustique, qu'on élève quand on ne peut rien élever d'autre, et dont l'investissement en capital et les coûts de production nécessaires sont faibles.

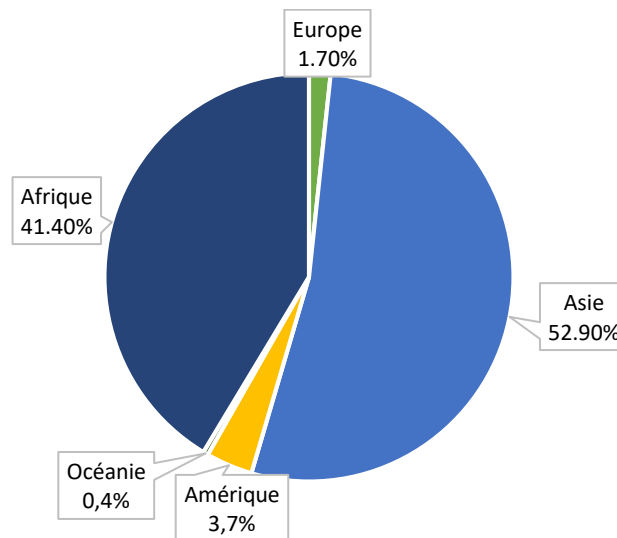


Figure 1 : Répartition du cheptel caprin dans le monde (Cellier, 2020)

Le cheptel caprin laitier se répartit aujourd'hui majoritairement en Asie et en Afrique, en Amérique et dans une moindre mesure en Europe et en Océanie. Les chèvres sont élevées dans des conditions très différentes à travers le monde, allant des systèmes intensifs parfois sans accès au pâturage à des systèmes extensifs pastoraux. En Asie et en Afrique les chèvres sont principalement élevées dans des systèmes extensifs (Escareño et al., 2012). En Europe du Nord et en Amérique du Nord, les chèvres laitières sont principalement élevées dans des systèmes intensifs se caractérisant par une productivité élevée, des apports d'intrants importants et des chèvres élevées en bâtiment sans accès à l'extérieur. La production mondiale de lait de chèvre s'élevait en 2017 à 18,7 millions de tonnes dont plus de 10 millions de tonnes produites en Asie, plus de 4 millions de tonnes produites en Afrique, presque 3 millions de tonnes en Europe et seulement 0,75 million de tonnes en Amérique (FAO, 2017). Si l'Asie et l'Afrique sont les producteurs les plus importants (figure 1), le rendement moyen des élevages européens est presque cinq fois supérieur à celui du reste du monde.

II. Les caractéristiques intrinsèques des chèvres laitières

La chèvre est un animal rustique réputé pour pouvoir s'adapter à différents systèmes d'élevage notamment grâce à sa robustesse physiologique et ses capacités physiques (petite taille, mâchoire fine, capacité à se tenir debout sur ses 2 pattes arrières...) ainsi qu'à sa capacité à ajuster son ingestion au plus près de ses besoins même en milieux difficiles. Les races de chèvres laitières les plus répandues dans le monde sont la Saanen, l'Anglo-nubienne, l'Alpine et la naine d'Afrique occidentale (FAO 2017). Le cheptel laitier français se compose essentiellement de deux races : la race Alpine (la plus représentée en France) et la race Saanen (figure 2), qui représentent 55% et 42% du cheptel français, respectivement (tableau 1).



Figure 2 : Chèvres de la race Alpine (à gauche) et Saanen (à droite)

Outre leurs qualités laitières, les chèvres de race Alpine s'adaptent facilement aux différents milieux de production. La chèvre Alpine est une chèvre rustique, forte laitière, de format moyen qui s'adapte très bien à la stabulation, au pâturage ainsi qu'à la vie en montagne ou sur parcours. La race Saanen est plus adaptée aux systèmes intensifs d'élevage laitier du fait de son caractère paisible et sa forte production laitière. Elle est la race caprine laitière la plus répandue à travers le monde. La France compte également des races locales (Corse, Poitevine, Pyrénéenne ou encore la chèvre du Rove) à petits effectifs, souvent utilisées dans des systèmes extensifs.

Variables	Alpine	Saanen
Production laitière moyenne par lactation (kg)	949	999
Durée lactation (j)	298	298
Taux protéique (g/kg)	33,6	32,6
Taux butyreux (g/kg)	38,1	38,1

Tableau 1 : Comparaison toutes lactations confondues des performances laitières des races Alpine et Saanen (Résultats du contrôle laitier 2020, Institut de l'Élevage & France Conseil Elevage)

III. Les spécificités de l'élevage caprin laitier en France

Le cheptel caprin français est essentiellement à vocation laitière. Il existe deux types d'élevages laitiers : les livreurs (généralement intensifs), qui par définition livrent leur production aux laiteries (lesquelles transforment 80% du volume de lait national) et les fromagers, souvent engagés dans des systèmes plus extensifs et qui transforment tout ou une partie de leur lait (20% de la production laitière nationale). La France est le leader européen en termes de production laitière, avec en moyenne 950 kg de lait par lactation en 2017 et un cheptel de plus d'un million de têtes (FAO, 2017), qui représente plus de 10% du cheptel européen. La France est également le premier fabricant de fromages de chèvre en Europe avec quatorze fromages de chèvre ayant reçu le label AOP (ANICAP, 2017. *Plan de la filière caprine française*).

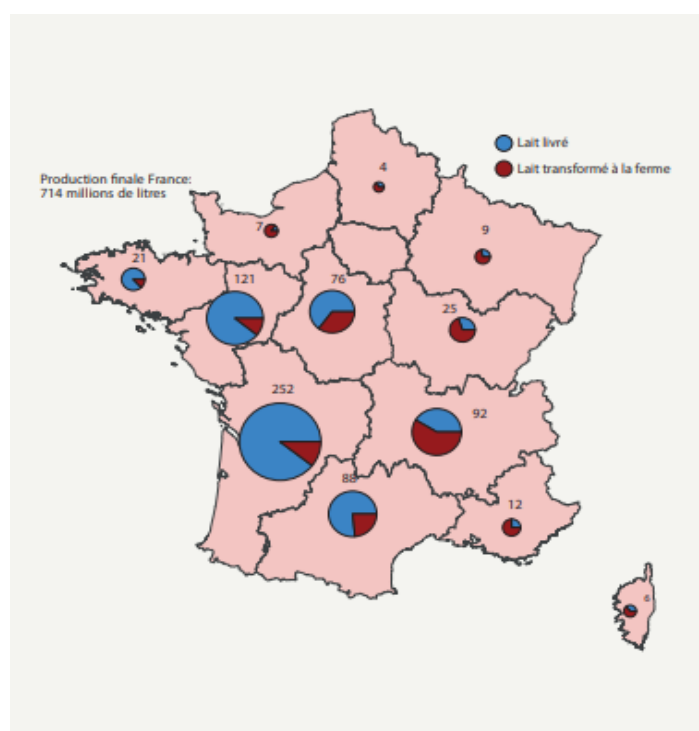


Figure 3 : Répartition du cheptel caprin en France (Source : Chiffres clés GEB Caprins 2022)

En France, la production de lait de chèvre se concentre principalement dans deux régions : le sud et le centre ouest (figure 2), mais renferme une grande diversité de systèmes :

- Les systèmes du Centre Ouest/Ouest : ils correspondent à un système laitier spécialisé et livreurs avec en moyenne 230 chèvres par troupeau et une conduite plutôt intensive. Ce sont les systèmes majoritaires en France.

- Les systèmes de la zone Sud-Ouest/ Massif Central / Rhône Alpes : les troupeaux sont moins grands que dans le Centre-Ouest, avec une soixantaine de chèvres en moyenne. Un tiers des éleveurs sont fromagers dont un tiers sont sous AOP.

- Les systèmes pastoraux du sud : ils correspondent au système traditionnel de la zone méditerranéenne avec des troupeaux d'une taille d'environ 50 chèvres, spécialisés fromagers (Institut de l'élevage, 2012).

En effet, il existe une réelle dichotomie entre les élevages pastoraux et les élevages intensifs qui évoluent, ces dernières années, vers un retour au pâturage dans un souci d'améliorer leur autonomie fourragère et protéique. Et pour cause, quand l'autonomie alimentaire globale est en moyenne de 85% en élevage bovins lait (Brunschwig et al., 2012), elle n'est que de 56% chez les caprins (Bossis et al., 2015). C'est le même constat concernant l'autonomie protéique des élevages caprins laitiers qui ne s'élève qu'à 38% contre 60% en élevage bovins lait (Brocard et al., 2016). Ceci constitue une réelle fragilité notamment au regard de la volatilité du prix des matières premières ces dernières années et des aléas climatiques, et représente aujourd'hui une préoccupation importante des éleveurs caprins laitiers. En effet, les coûts d'alimentation constituent l'une des plus grandes dépenses de l'éleveur. D'après les résultats INOSYS caprins, en 2020, les coûts d'alimentation représentaient en moyenne 60% des charges opérationnelles, ils auraient atteint des niveaux records en 2022 (+40% par rapport à l'année 2021) d'après l'indice des Prix d'Achats Moyen des Productions Agricoles (IPAMPA) (Bluet & Bossis, 2022).

IV. L'alimentation des chèvres laitières en France

1. Eléments génériques sur l'alimentation des chèvres laitières

Une chèvre est capable d'atteindre des niveaux d'ingestion de matières sèches élevés, dépassant les 5% de poids vif. Dans les systèmes laitiers, la ration de fourrages est généralement complétée avec une dose de concentré afin de couvrir les besoins de production. En France, les chèvres, sont la plupart du temps alimentées en lot, et le rationnement est calculé à partir de la définition d'un animal cible, ce qui ne rend pas compte de la variabilité des performances, des niveaux de production, du stade de lactation ou encore de l'état corporel du groupe. Mais aujourd'hui, il est admis que la compréhension et la prévision de l'ingestion de MS à l'échelle individuelle est une question clé dans l'alimentation des chèvres laitières. En effet, l'ingestion volontaire des chèvres laitières dépend de plusieurs facteurs (Jarrige et al, 1995). Il y a les

facteurs physiologiques (stade physiologique, âge, vitesse de croissance, réserves corporelles...) qui déterminent la capacité d'ingestion (CI) de l'animal. Selon Jarrige (1988), la CI d'un animal reflète sa capacité à ingérer une certaine ration. Elle résulte de ces besoins énergétiques et azotés, de sa motivation à consommer, mais aussi de sa capacité à digérer cette ration. Il y a aussi les facteurs environnementaux qui peuvent modifier l'expression de cette capacité, mais également les caractéristiques du fourrage qui déterminent son ingestibilité³ et sa valeur alimentaire, le type et la quantité de concentré distribué et enfin les facteurs liés à la conduite et aux pratiques de distribution (temps d'accès au fourrage, fréquence de distribution, quantité offerte...). Au pâturage, c'est un peu différent, car les animaux récoltent eux-mêmes leur fourrage. L'état du couvert végétal, physique et structural (biomasse, hauteur, rapport limbe/gaine) va impacter la facilité de préhension et donc la taille et la fréquence des bouchées, la vitesse d'ingestion, le temps passé par les animaux pour satisfaire leur CI et donc leur motivation à ingérer (Baumont et al., 2004). Des études récentes ont montré que le temps d'accès au pâturage a également un impact sur l'ingestion des chèvres. Elles sont capables de manger très rapidement pour maintenir un niveau d'ingestion satisfaisant même lorsque le temps d'accès au pâturage est restreint (5 h d'accès, Charpentier et Delagarde, 2016).

Le principal objectif du système INRA (2018) est de prévoir la matière sèche volontairement ingérée (MSVI) pour une grande diversité de compositions de rations. Pour cela, la CI est calculée, si et seulement si, l'un des fourrages est distribué à volonté, comme la somme des quantités de MS ingérée de chaque aliment, pondérée de leur valeur d'encombrement. La Matière sèche ingérée (MSI) d'un fourrage est ainsi déterminée en prenant en compte les caractéristiques et les quantités des autres aliments offerts. La CI d'une chèvre en lactation dépend de son poids vif (kg), de sa production laitière standard (corrigée pour un TB = 35 g/kg et un TP = 31 g/kg), de facteurs associés au stade de lactation, de gestion ainsi que de la teneur en MAT de la ration (INRA, 2018). La valeur alimentaire d'un fourrage peut également être calculée à l'aide des équations du système INRA (2018) (annexe 1).

2. Les fourrages utilisés pour l'alimentation des chèvres

L'élevage caprin Français se caractérise par une diversité de systèmes d'alimentation, correspondant aux contextes des exploitations, et menant à des niveaux d'autonomie

³ Terme qui prend en compte la palatabilité en partie corrélée à des caractéristiques sensorielles et les caractéristiques physico-chimiques d'un aliment qui lui confèrent une aptitude plus ou moins grande à être digéré et/ou à transiter rapidement

alimentaire et protéique variables (tableau 2). Il existe des systèmes très extensifs comme le pâturage sur parcours ou sur prairies, des systèmes basés sur le foin ou l'ensilage ou encore l'affouragement en vert⁴ et des systèmes très intensifs avec des animaux nourris en bâtiment toute l'année avec de faibles quantités de fourrages grossiers et des quantités importantes de concentrés et de déshydratés (Sauvant & Giger-Reverdin, 2018). Sur le territoire français, les fourrages verts et conservés constituent en moyenne 68% de la ration des chèvres, dont 80% sont produits sur les terres de l'exploitation (Bossis & Jost, 2016). Aujourd'hui, 57% des élevages ont un système alimentaire reposant sur l'utilisation de fourrages conservés (secs ou humides) contre 43% utilisant des fourrages verts (affouragement, pâturage). Les chèvres sont donc le plus souvent élevées toute l'année en bâtiment et le fourrage distribué est majoritairement du fourrage conservé (Caillat et al., 2016). Plusieurs types de rations fourragères sont possibles : les rations à dominante foin, les rations à base de foin de légumineuses (luzerne), d'ensilage de maïs, de foin et d'enrubannage (Caillat et al., 2016). Des pulpes ou des fourrages déshydratés présentés sous forme de granulés sont également souvent utilisés pour limiter les refus. Les animaux sont complétés avec des concentrés (généralement achetés à l'extérieur de l'exploitation) permettant d'équilibrer la ration (en cas de déficit protéique des fourrages notamment) et d'augmenter la production en augmentant l'ingestion (substitution).

Dans le Grand Ouest, les éleveurs sont majoritairement livreurs de lait et la place du pâturage a diminué au cours du XX^{ème} siècle avec l'intensification fourragère et animale et l'agrandissement des troupeaux. L'herbe y est majoritairement valorisée sous forme de foin, et relativement peu au pâturage (Agreste, 2019). Une enquête récente menée dans le Grand Ouest a pourtant montré que tous les acteurs de la filière s'accordent pour reconnaître les effets positifs du pâturage sur l'autonomie alimentaire, car c'est une ressource fourragère équilibrée en énergie et protéines (INRA, 2018), et sur l'adéquation avec les attentes sociétales. Le principal frein identifié pour une utilisation accrue du pâturage est celui des problèmes parasitaires (Hoste et al., 2013 ; IDELE, 2021). Certains éleveurs choisissent aussi de ne pas faire pâturer leurs chèvres pour des raisons techniques comme la gestion de l'herbe. Mais aussi pour des raisons de répartition du foncier plus ou moins favorable, du travail qu'il faut fournir afin de déplacer des animaux et des aménagements nécessaires (clôtures, eau...).

⁴ L'affouragement en vert consiste à distribuer directement à l'auge de l'herbe fauchée quotidiennement.

Niveau d'autonomie alimentaire	Systèmes alimentaires	Part des élevages caprins Français	Production laitière (L/chèvre)	Part des fourrages dans la ration	Autonomie alimentaire	
					Massique	Protéique
Fort	Pâturage	18%	688	75%	76%	67%
	Enrubannage	5%	806	61%	70%	48%
	Pastoral misant sur le pâturage	10%	351	86%	69%	69%
Intermédiaire	Foin de légumineuses dominant	19%	787	64%	64%	48%
	Ensilage de maïs	10%	846	62%	62%	34%
	Affouragement en vert	6%	840	63%	61%	44%
	Rations sèches déshydratées et concentrés	3%	860	51%	60%	20%
	Foin de graminées et légumineuses	19%	778	63%	55%	32%
Faible	Pastoral misant sur le distribué	10%	637	82%	23%	12%

Tableau 2 : Description des systèmes alimentaires caprins laitiers en fonction de différents indicateurs de suivi (Bossis et Jost, 2016)

Dans la suite de ce mémoire, nous nous intéresserons uniquement aux pratiques de distribution des fourrages à l'auge. Le pâturage sur prairie ou sur parcours n'a pas été étudié ici, le projet MaxForGoat se focalisant sur les fourrages distribués à l'auge, qui correspondent aux systèmes d'alimentation prédominants en France.

3. De nombreuses pratiques de distribution des fourrages

Les pratiques de distribution des fourrages dans les élevages caprins laitiers sont également très diverses. En effet, les éleveurs cherchent à optimiser la production laitière, la valorisation des fourrages mais aussi leur charge de travail, dans des contextes variés. De plus, les systèmes alimentaires en production caprine évoluent très vite. En région Centre par exemple, trois quarts des éleveurs ont changé au moins une fois de système alimentaire entre 2000 et 2007 (Réseau d'élevage caprin région Centre et al., 2008). Ces changements répondent à des objectifs divers : assurer les performances laitières, être autonome, réduire les coûts, s'adapter aux conditions de production des AOP, simplifier le travail.

Il existe cependant une pratique d'élevage spécifique aux caprins, qui consiste à distribuer de manière séparée et asynchrone différents fourrages sur une même journée. Les éleveurs distribuent généralement un fourrage le matin et un autre le soir (qui reste accessible toute la nuit), en fonction de la valeur alimentaire supposée des fourrages - appréciée en observant le comportement des chèvres - mais sans réellement connaître l'influence de cette pratique sur les performances de leurs animaux. Au lancement du projet MaxForGoat, des enquêtes ont été réalisées auprès d'éleveurs et de conseillers, dans le but d'identifier les principaux fourrages utilisés, les différentes pratiques de distribution et la raison de leur mise en place. Les résultats de ces enquêtes (Fança & Bluet, 2022) montrent que les éleveurs caprins distribuent, pour la majorité, deux fourrages différents dans une journée. Les opinions à propos de l'ordre de distribution de ces fourrages sont contrastées : 31% des éleveurs interrogés distribuent le fourrage de meilleure valeur alimentaire le matin contre 35% le soir. Le constat est différent en ce qui concerne la fibrosité du fourrage. En effet, 79% distribuent le fourrage le plus fibreux le matin contre 11% le soir. Bien que des études ont suggéré que le nombre de distributions et l'ordre des aliments distribués sont des facteurs importants affectant l'ingestion de MS (Dulphy et al., 1988), qui pourraient donc constituer des leviers d'action efficaces pour maximiser la valorisation des fourrages, il n'existe pas d'étude s'intéressant spécifiquement à l'impact de l'ordre de distribution de 2 fourrages de manière asynchrone alors que c'est une pratique courante en élevage caprin laitier. Lorsque plusieurs fourrages sont offerts simultanément, Ginane et al. (2002) ont montré chez les génisses que la diversité fourragère stimulait l'ingestion (+ 10%). Chez les ovins également, des essais ont montré qu'une plus grande diversité de fourrages de faible qualité offerts dans un choix binaire ou multiple, a entraîné une ingestion totale plus élevée et a permis des apports plus élevés en nutriments (Meier et al, 2014). En effet, cela offre, en théorie, la possibilité aux animaux d'ajuster leur ingestion au plus près de leurs préférences ou de leurs besoins nutritionnels individuels (Provenza al., 2003). Des observations similaires ont été réalisées chez les ovins lorsque de la chicorée et du ray-grass étaient associés dans la ration (Niderkorn et Baumont, 2009). Ces études ne se sont pas intéressées aux caprins, ni à l'impact de l'ordre de distribution de 2 fourrages offerts de manière asynchrone. La seule référence disponible pour les caprins est le guide d'alimentation pratique des chèvres, qui recommande de proposer au moins deux fourrages par jour à volonté et d'enlever les refus, c'est-à-dire ce qui n'a pas été consommé par les chèvres, quotidiennement. Il y est également conseillé de distribuer les fourrages de bonne qualité avant les moins bons, qui seront distribués en fin de journée afin de ne pas pénaliser l'ingestion au cours de la journée (IDELE, 2011) sans davantage de précision sur l'impact comportemental alors que celui-ci peut

avoir une importance capitale, notamment parce que les chèvres qui font face à des moments et à des durées d'accès différentes pour chaque fourrage.

4. Le comportement alimentaire de tri chez la chèvre laitière

Le comportement alimentaire est défini comme « l'ensemble des actions réalisées par un animal ayant pour finalité la recherche, le choix et l'ingestion des aliments en quantité adaptée à la satisfaction de leurs besoins énergétiques et nutritionnels » (Jean-Blain, 2002). Il est amené à évoluer, pour un même animal, avec l'âge et les différents états physiologiques, en particulier au cours de sa vie reproductive (Jarrige, 1988). Il peut être influencé par différents paramètres tels que la race, la position hiérarchique de l'individu, le mode de distribution, la composition chimique du fourrage ou encore l'environnement (Cellier, 2020). Le profil d'ingestion est défini comme la combinaison de plusieurs paramètres : le nombre de repas par unité de temps, la durée d'un repas et la quantité ingérée par repas. Ceci permet de définir d'autres critères comme : le temps passé à ingérer et la vitesse d'ingestion (figure 6).

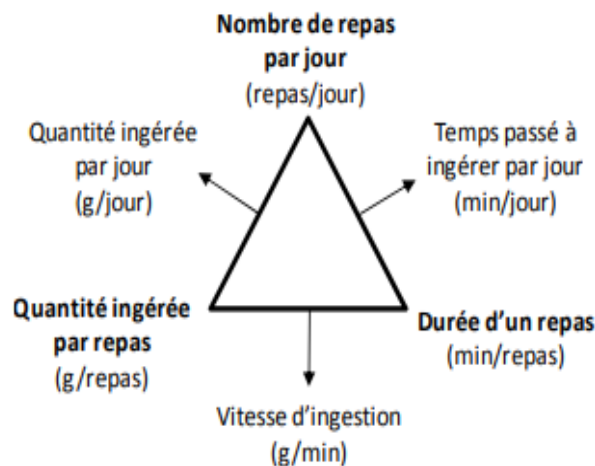


Figure 4 : Les composantes du comportement alimentaire (Nielsen ,1999)

Les chèvres présentent un comportement alimentaire hautement adaptable (Goetsch et al., 2010). Comme de nombreuses espèces de ruminants, la répartition des activités varie au cours de la journée (Aldezabal & Garin, 2000). Cependant, la chèvre est renommée pour être plus sélective que les autres ruminants concernant ce qu'elle ingère (Görgülü et al, 2008), que ce soit dans des conditions d'alimentation intensive (Morand-Fehr, 2005) ou sur parcours (Bourbouze & Guessous, 1977), laissant davantage de refus dans l'auge si l'aliment est proposé *ad libitum* (Morand-Fehr, 2003). Plus que toute autre espèce, les chèvres sont capables de choisir, parmi les aliments disponibles, les parties de plantes ayant la teneur en protéines la plus

élevée et/ou la meilleure digestibilité, en sélectionnant les aliments sur la base des caractéristiques sensorielles et des effets post-ingestifs tirés de leur propre expérience (Provenza et al., 2003). Cette sélection est permise par des adaptations morphologiques, notamment une mâchoire plus fine que les autres ruminants, ce qui permet à la chèvre de mettre en place une mécanique de choix très fine. Elle existe au pâturage comme en stabulation, où il est également possible d'observer des différences notables de préférence, notamment pour les feuilles comparées aux tiges des fourrages dont la teneur en cellulose est plus importante (Morand-Fehr et al., 1980). De plus, il a été montré que la sélection réalisée par les chèvres augmente le temps passé à ingérer et diminue la vitesse d'ingestion par rapport aux ovins (Dulphy et al., 1988). Elles passent également moins de temps à ruminer que les ovins (Geoffroy, 1974). A l'auge, l'ingestion des chèvres pourrait être modifiée par les pratiques de distribution. Mais étant donné la diversité de pratiques existantes et l'absence de connaissances de leurs impacts, clarifier les relations fonctionnelles entre les pratiques, les performances et le comportement alimentaire des chèvres laitières semble essentiel pour proposer des voies d'évolution des systèmes caprins laitiers (Cellier, 2020) qui concilient des coûts de production modérés, un niveau d'ingestion, de production de lait important et l'absence de troubles digestifs. En particulier, il existe un manque de connaissances sur la façon dont les choix des chèvres affectent les prises alimentaires relatives lorsque des fourrages de qualité différente sont offerts de façon asynchrone (Giger-Reverdin et al., 2020). Il est admis que la stratégie comportementale des chèvres peut différer selon la palatabilité, l'ingestibilité, la digestibilité, la composition chimique entre des fourrages offerts mais aussi selon leur moment de distribution. En effet, les animaux ruminent principalement la nuit car ils ingèrent peu et la faim s'exprime surtout le matin en particulier après les traites qui stimulent l'ingestion. Ainsi, l'étude du comportement alimentaire semble être un bon moyen de comprendre la capacité des chèvres à s'adapter à des situations alimentaires inhabituelles. Ce qui pourrait être un bon indicateur de l'adaptabilité des animaux dans des situations alimentaires extrêmes, telles qu'un faible temps d'accès aux aliments, par exemple (Charpentier et al., 2019) et pourrait permettre à éleveur d'adapter ses pratiques de distribution.

V. Le projet MaxForGoat

1. Les objectifs et les partenaires

Le choix d'une méthode de distribution des fourrages au sein d'une ferme est un compromis entre l'organisation du travail et la maximisation de l'utilisation des fourrages. Le projet

MaxForGoat (France Futur Elevage 2022/2024) vise à mieux comprendre et documenter l'impact des pratiques de distribution des fourrages (fréquence de distribution, ordre de distribution et proportion de refus) afin de revoir et d'affiner les recommandations dans le contexte actuel de l'élevage caprin et de combler le manque de références sur la gestion de la distribution des fourrages. Il vise également à développer des outils pour les agriculteurs et leurs conseillers afin d'améliorer la gestion de la distribution des fourrages dans différents systèmes caprins laitiers. Ce projet se concentre sur une question importante mais peu étudiée pour les agriculteurs : l'impact de la gestion de la distribution des fourrages sur les résultats techniques. En mobilisant de nombreux partenaires, il vise à explorer une grande diversité de stratégies d'alimentation (systèmes d'alimentation, pratiques de distribution d'aliments), pour coller au maximum aux pratiques de distribution que l'on peut trouver en France. Ce projet est piloté par l'IDELE et porté par le GAC et implique un grand nombre de professionnels du secteur caprin, des agriculteurs aux conseillers et chercheurs. Il repose sur un travail coopératif mobilisant des fermes commerciales et expérimentales pour s'assurer (i) qu'il réponde aux besoins du secteur, et (ii) pour s'assurer de la qualité des résultats. Le fait d'avoir un grand nombre de ferme permet d'être le plus représentatif possible de la diversité des systèmes existants. Par ailleurs mobiliser des fermes expérimentales permet de disposer des outils et savoirs faire nécessaires à la mise en place rigoureuse d'expérimentations.

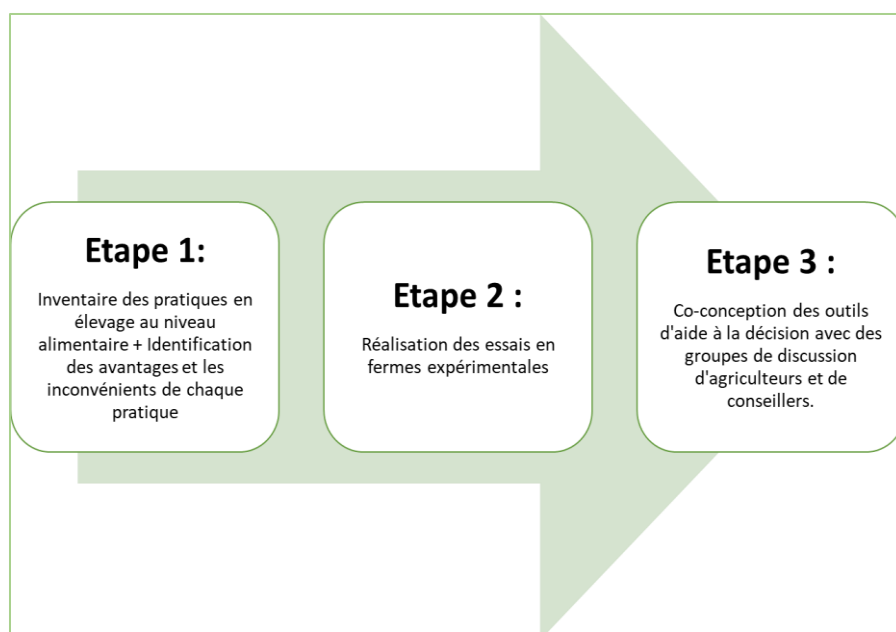


Figure 5 : Les étapes du projet MaxForGoat (France Futur Elevage 2022/2024)

2. Les essais réalisés et en cours

Le projet MaxForGoat est découpé en 3 grandes étapes (figure 5) comprenant une phase d'inventaire des pratiques au niveau alimentaire notamment via des enquêtes. Mais aussi une étape d'expérimentation dans l'objectif de tester l'impact des pratiques identifiées sur le terrain sur la valorisation des fourrages par les chèvres, suivie d'une phase de co-conception d'outils d'aides à la décision en partenariat avec les éleveurs et conseillers caprins. Les essais (tableau 3) de la phase expérimentale de ce projet ont été conduits en fermes expérimentales (UMR PEGASE, UE Ferlus, UMR Mosar, Ferme Le Pradel) depuis début 2022 et ont pour objectif de déterminer les impacts i) du nombre quotidien de distributions de fourrages, ii) de l'ordre de distribution des fourrages au cours de la journée (lorsque des fourrages différents sont apportés chaque jour), et iii) de la proportion de refus. Ces impacts sont mesurés sur l'ingestion, le comportement, la production et la composition du lait des chèvres. Il s'agit ici de questions particulièrement difficiles à aborder étant donné le grand nombre de combinaisons fourrage×ordre de distribution existantes. Il a donc été nécessaire de faire des choix, en termes d'associations de fourrages, pour la réalisation de la phase expérimentale de ce projet. C'est pour ces raisons que les pratiques et associations de fourrages retenues pour la réalisation de la phase expérimentale sont généralement les plus répandues, et font suite à des échanges et discussions au sein du GAC en amont du projet.

Thématiques	Lieux	Fourrages	Design expérimental	Traitements
Ordre de distribution	PEGASE	Herbe verte et maïs ensilage (2204)	Schéma en inversion ABA-BAB	A : Herbe verte matin et maïs soir B : Maïs le matin et herbe soir
		Foin de luzerne et maïs ensilage (2303)	Schéma en inversion ABAB-BABA	A : Foin de luzerne matin et maïs soir B : Maïs matin et foin de luzerne soir
		Foin de luzerne et enrubannage de graminées (2304)	Schéma en inversion ABAB-BABA	A : Foin de luzerne matin et enrubannage soir B : Enrubannage matin et foin de luzerne soir
		Herbe verte et foin de graminées (2307)	Schéma en inversion ABAB-BABA	A : Herbe verte matin et foin soir B : Foin le matin et herbe soir
		Foin de luzerne de bonne qualité et de mauvaise qualité (2306)	Schéma en inversion ABAB-BABA	A : Mauvais foin de luzerne matin et bon soir B : Bon foin de luzerne matin et mauvais foin soir
	Le Pradel	Pâturage et foin de graminées	Schéma en inversion ABAB-BABA	A : Avec foin le soir B : sans foin le soir
Nombre de distributions	PEGASE	Herbe verte (2203)	Schéma en inversion ABA-BAB	A : 1 distribution B : 2 distributions
	FERlus	Foin séché en grange	Carré latin 3*3	1, 2 ou 3 distributions
	MoSAR	TMR* type 1	Schéma en inversion ABA-BAB	A : 2 distributions B : 3 distributions
	MoSAR	TMR* type 2	Schéma en inversion ABA-BAB	A : 2 distributions B : 3 distributions
	Le Pradel	Foin de luzerne	Schéma en inversion ABA-BAB	A : 2 distributions B : 3 distributions
Proportion de refus	FERlus	Foin séché en grange	Carré latin 3*3	< 5, 10 et 20% de refus

*TMR = Total Mixed Ration

Tableau 3 : Bilan des expérimentations réalisées dans le cadre du projet MaxForGoat au sein de 4 fermes expérimentales (2204 : 4ème essai réalisé en 2022 à la ferme de Méjusseume ; 2303 : 3ème essai de l'année 2023 ; 2304 : 4ème essai de l'année 2023 ; 2306 : 6ème essai de l'année 2023 et 2307 : 7ème essai de l'année 2023)

PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DU STAGE

La valorisation des ressources fourragères est au cœur des enjeux de réduction des coûts alimentaires et d'amélioration de l'autonomie alimentaire des élevages caprins laitiers.

Pour prévoir l'ingestion des chèvres laitières, le système d'alimentation INRA (2018) intègre des facteurs tels que : le poids, l'état corporel, le stade physiologique, la valeur d'encombrement des fourrages et le taux de substitution entre fourrages et concentrés. Mais il est également admis que les pratiques de distribution, non prises en compte actuellement dans le système INRA de prévision de l'ingestion, aient un impact important sur l'ingestion et la production des chèvres laitières. Cependant, de nombreuses modalités de pratiques de distribution en élevage caprin existent en France et leur influence sur l'ingestion n'est pas connue tant au niveau scientifique qu'au niveau technique. C'est également le cas des effets des choix réalisés par les chèvres et de leurs préférences. Ceux-ci n'ont pas été étudiés jusqu'à lors et ne sont pas pris en compte pour prévoir l'ingestion. Quantifier les effets de l'ordre de distribution de différents fourrages permettrait de comprendre comment ceux-ci influent sur l'ingestion et la production laitière, mais également de comprendre comment le comportement alimentaire ou encore l'expression des préférences chez des chèvres sont impactées par ces pratiques. Il s'agit d'un problème soulevé quotidiennement par les conseillers et les éleveurs caprins, qui ne s'accordent pas sur un ordre spécifique de distribution des fourrages. L'objectif du stage, correspondant à 2 essais menés à la ferme expérimentale de Méjusseau, était de déterminer et de quantifier l'impact de l'ordre de distribution de deux fourrages offerts soit le matin, soit le soir, sur l'ingestion, le comportement alimentaire et la production laitière des chèvres.

Les hypothèses de travail sont les suivantes :

- Le temps d'accès au fourrage pourrait influencer sur le comportement alimentaire, l'ingestion et la production laitière des chèvres, car le fourrage offert le soir est accessible plus longtemps que celui offert le matin. Ainsi, l'ingestion du fourrage distribué le soir serait supérieure à l'ingestion de ce même fourrage distribué le matin.
- Le moment de distribution des fourrages (matin/soir), pourrait avoir un impact sur leur ingestion par les chèvres notamment, car les ruminants concentrent leurs activités d'ingestion principalement le jour. L'ingestion du fourrage distribué le matin serait donc supérieure à celle de ce même fourrage distribué le soir.
- Les chèvres pourraient exprimer une préférence pour un des fourrages, ce qui pourrait modifier l'impact de l'ordre de distribution des fourrages.

MATERIELS ET METHODES

I. Le dispositif expérimental

1. La ferme expérimentale

Les essais se sont déroulés au sein de la chèvrerie de la ferme expérimentale laitière de Méjusseume (Le Rheu (35), <https://doi.org/10.15454/yk9q-pf68>) appartenant à l'UMR PEGASE. La chèvrerie accueille un troupeau d'environ 150 chèvres laitières de race Alpine. Les installations permettent de réaliser des études en condition proches de celles des élevages commerciaux pour établir les liens entre les pratiques, la production et qualité du lait. Une partie du troupeau est inséminée et l'autre est mise à la reproduction par monte naturelle. Les chevrotages ont eu lieu au mois de Février et se sont étalés sur environ 2 semaines en 2023. Les chèvres sont nourries en bâtiment la majeure partie de l'année avec une ration à base de foin de graminées complémentée en concentrés. Les chèvres sortent au pâturage (entre les 2 traites quotidiennes soit pendant une durée de 8 h) au printemps, généralement à partir du mois d'avril et jusqu'au mois de juillet si la quantité d'herbe est suffisante sur les prairies de la ferme.

2. Traitements expérimentaux

Les deux essais (L2306 et L2307) se sont déroulés du 21 avril au 16 juin 2023. Il s'agissait de la 2^{ème} année d'expérimentation du projet MaxForGoat. L'objectif était d'étudier l'impact de l'ordre de distribution de 2 fourrages au cours de la journée sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières.

Au sein de l'essai L2306, les deux fourrages distribués aux chèvres ont été :

- Un foin de luzerne de bonne qualité (MAT élevée)
- Un foin de luzerne de qualité moyenne (MAT moyenne)

Deux traitements ont été testés avec cette première association de fourrages :

- Le traitement **BONmatin** qui consiste à distribuer le foin de luzerne de bonne qualité le matin et le foin de luzerne de qualité moyenne le soir
- Le traitement **BONsoir** qui consiste à distribuer le foin de luzerne de qualité moyenne le matin et le foin de luzerne de bonne qualité le soir

Au sein de l'essai L2307, les deux fourrages distribués aux chèvres ont été :

- De l'herbe verte fauchée chaque matin
- Un foin de graminées de faible qualité

Deux traitements ont été testés avec cette seconde association de fourrages :

- Le traitement **HVmatin** qui consiste à distribuer de l’herbe verte le matin et le foin de graminées le soir
- Le traitement **HVsoir** qui consiste à distribuer le foin de graminées le matin et l’herbe verte le soir

3. Schéma expérimental

Les essais ont été réalisés selon un schéma en inversion A-B-A-B pour un lot et B-A-B-A pour l’autre, en suivant le principe du carré latin. C’est-à-dire qu’au sein d’un essai, il était prévu que chaque lot reçoive les deux traitements à deux reprises, durant 4 périodes successives, afin d’assurer une puissance statistique suffisante pour les données mesurées seulement à l’échelle du lot (voir ci-dessous). Les différents traitements et leurs déroulements au cours des deux essais sont résumés dans le tableau 2. Pour l’essai L2306, suite à une erreur dans la livraison des foins de luzerne, seules les données des 3 premières périodes ont été utilisées pour réaliser les traitements statistiques. Les données concernant la 4ème période, réalisée avec un foin de bonne qualité différent de celui des 3 premières périodes, sont disponibles en annexe.

Essai	Lot	P1	P2	P3	P4
		21/04-04/05	05/05-18/05	19/05-01/06	02/06-16/06
L2306	Lot Noir	BONsoir	BONmatin	BONsoir	-
	Lot Blanc	BONmatin	BONsoir	BONmatin	-
L2307	Lot Jaune	HVmatin	HVsoir	HVmatin	HVsoir
	Lot Vert	HVsoir	HVmatin	HVsoir	HVmatin

Tableau 4 : Répartition des traitements selon les lots et les périodes des essais L2306 et L2307

Avec : P1 : période 1 ; P2 : période 2 etc...

Traitements :

- HVmatin : Herbe le matin et foin de graminées le soir,
- HVsoir : Foin de graminées le matin et herbe le soir,
- BONmatin : Bon foin de luzerne le matin et mauvais foin de luzerne le soir
- BONsoir : Mauvais foin de luzerne le matin et bon foin de luzerne le soir

Chaque période a duré 14 jours, avec 7 jours d’adaptation (J1 à J7) et 7 jours de mesures (J8 à J14). Les durées de chaque période ont été considérées suffisantes pour permettre l’adaptation des animaux aux régimes. En effet, les chèvres sont connues pour s’adapter en quelques jours à un nouveau régime (Charpentier & Delagarde, 2016 ; Charpentier et al., 2019), et les écarts de régimes entre traitements étaient faibles dans nos essais. De plus, cette durée est considérée

suffisante pour pouvoir observer d'éventuelles variations de production laitière, qui se stabilise rapidement après un changement de régime alimentaire. Les chèvres passaient d'un traitement à un autre sans transition en prenant soin de leur fournir toujours du fourrage à volonté.

4. Origine des fourrages

Les foin de luzerne utilisés dans l'essai L2306 ont été achetés sous forme de bottes d'environ 600 kg, de dimension 120×50×90 cm à la société Luzerne du Poitou. Les teneurs en MAT du bon et du mauvais foin de luzerne étaient respectivement de 210 g/kg MS et 175 g/kg MS à la livraison. Le foin de graminées utilisé dans l'essai L2307 provenait d'un lot homogène de foin (conditionné en bottes de 550 kg) produit sur une parcelle de la ferme expérimentale de Méjusseume (J15-6) au cours de l'année 2021. Sa teneur en MAT en pré-essai était de 80 g/kg MS. Enfin l'herbe utilisée dans l'essai L2307 était fauchée tous les matins sur la parcelle J24 (figure 6) entre 8h30 et 9h. Il s'agissait d'une prairie temporaire de 4 ans semée en Ray-Grass anglais pur avec une faible présence de trèfle. Une fertilisation de 40 U N/ha a été réalisée régulièrement sur la zone fauchée (environ 14 jours avant la fauche suivante). Une fois fauchée, l'herbe était distribuée au lot du traitement HVmatin. L'herbe de la distribution du soir (lot du traitement HVsoir) était pesée, mise dans des caisses de 20 kg et posées devant l'auge en attendant la distribution du soir.



Figure 6 : Vue aérienne de la parcelle J24 utilisée pour l'affouragement dans l'essai L2307 (Ferme de Méjusseume)

5. Animaux expérimentaux

Vingt-quatre chèvres Alpine (primipares et multipares) en milieu de lactation ont été sélectionnées pour chacune des 2 expérimentations. Le choix des animaux a été fait à partir de données collectées durant une période de référence de 12 jours du 03/04 au 14/04 (tableau 3) à l'aide du logiciel INRAE (Miselots).

A savoir pour chaque chèvre :

- Le numéro d'identification
- La date de naissance
- La parité
- La date de mise bas et donc le stade de lactation
- La production laitière quotidienne (enregistrement matin et soir pendant 14 j)
- Le taux protéique et le taux butyreux du lait (7 jours de mesure)
- Les taux de cellules (2 jours de mesure)
- Le poids vif (2 jours de mesure)

Des indicateurs supplémentaires ont été calculés à partir des données recueillies comme :

- La production laitière standardisée (PLS) ; avec $PLS = PL \times (0,389 + 0,0052 \times (TB - 35) + 0,0029 \times (TP - 31)) / 0,389$; en kg/j
- Les productions de matières grasses (MG) et protéiques (MP) à partir des taux butyreux et protéiques (TB et TP); avec $MG = PL \times TB$ et $MP = PL \times TP$; en g/j.
- Les taux butyreux (TBp) et protéiques (TPp) pondérés sur la période ; avec $TBp = \sum MG / \sum PL$ et $TPp = \sum MP / \sum PL$; en g/kg

Critères	Essai 2306			Essai 2307		Ratio
	Case 5 Lot Noir	Case 6 Lot Blanc	Ratio	Case 7 Lot Jaune	Case 8 Lot Vert	
Poids vif (kg)	52.7 ± 9.1	53.1 ± 7.9	0.99	51.0 ± 7.0	51.3 ± 5.5	0.99
Stade de lactation (j)	41.1 ± 3.2	42.7 ± 2.3	0.96	41.1 ± 3.6	41.1 ± 3.2	1.00
Age (an)	2.7 ± 1.4	2.7 ± 1.5	1.00	2.7 ± 1.5	2.7 ± 1.4	1.00
Taux butyreux pondéré (g/kg)	33.3 ± 2.3	33.2 ± 3.3	1.00	33.4 ± 3.9	33.4 ± 4.3	1.00
Taux protéique pondéré (g/kg)	27.5 ± 2.4	27.5 ± 1.6	1.00	27.6 ± 2.0	27.7 ± 2.5	1.00
Production laitière (kg/j)	3.30 ± 0.69	3.30 ± 0.85	1.00	3.00 ± 0.6	3.00 ± 0.7	1.00
Matière grasse (g/j)	108.5 ± 20.7	108.5 ± 29.3	1.00	99.5 ± 27.9	98.0 ± 22.9	1.02
Matière protéique (g/j)	90.7 ± 24.5	90.1 ± 24.9	1.01	81.8 ± 19.3	81.8 ± 19.2	1.00
PL standardisée (kg/j)	3.10 ± 0.6	3.10 ± 0.8	1.00	2.80 ± 0.7	2.80 ± 0.6	1.00

*Ratio : plus il est proche de 1 et plus les lots sont homogènes sur le critère

Tableau 5 : Caractéristiques moyennes des chèvres à la mise en lots à partir de la période de référence

Les données individuelles de chaque chèvre utilisées pour la mise en lots sont en annexe 2. Le but était d'obtenir les lots les plus homogènes possibles au sein d'un essai. La proportion de primipares et de multipares était identique entre les 4 lots (25%).

II. Conditions expérimentales

1. Gestion de la phase pré-expérimentale

Une attention particulière a été portée aux transitions alimentaires de chacun des lots afin de limiter les problèmes liés à l'entérotoxémie observés l'année précédente. Les chèvres ont d'ailleurs été vaccinées avec un rappel durant l'hiver 2022-2023.

L'essai L2306 a été réalisé avec 24 chèvres Alpines en milieu de lactation nourries avec une ration à base de foin de graminées jusqu'au 28/03. A compter du 29/03, c'est-à-dire 24 jours avant le début de l'essai, les foin de luzerne ont été progressivement introduit dans la ration (en proportion 50/50), en remplacement du foin de graminées, selon un plan d'alimentation réalisé en amont, afin d'initier une transition alimentaire lente sur 3 semaines avant le début de l'essai d'un lot de 30 chèvres.

Au sein de l'essai L2307, les chèvres ont également été nourries en bâtiment sur une ration à base de foin de graminées jusqu'au 28/03. A partir du 29/03, de l'herbe verte a progressivement été introduite dans la ration, en remplacement du foin de graminées, selon un plan d'alimentation réalisé en amont afin d'initier une transition alimentaire lente sur 3 semaines avant le début de l'essai, d'un lot de 30 chèvres

2. Gestion de la phase expérimentale

Les lots comprenaient 12 chèvres placées dans une case possédant 12 places aux cornadis afin que toutes les chèvres d'un lot puissent avoir accès aux fourrages en même temps et tout le temps. L'objectif visé lors des distributions était d'avoir entre 10% et 15 % de refus dans l'auge de chaque lot, pour chacun des fourrages, afin de permettre aux animaux de disposer d'une alimentation à volonté jusqu'à la distribution suivante (INRA, 2010). Ainsi, la quantité distribuée était ainsi réajustée au jour le jour, notamment en distribuant des quantités plus faibles si le fourrage avait été peu consommé le jour précédent. En plus des fourrages, les chèvres recevaient individuellement deux fois par jour 300 g brut de concentré en salle de traite (soit 600 g/j) ainsi que 20 g/j de minéraux le matin aux alentours de 6 heures, en collectif (240 g/j pour le lot). Le concentré de production était composé de 30% orge, 25.5% pulpes de betteraves, 5% son fin de blé, 12% de luzerne 18, 23% tourteau de soja, 1% huile de colza, 3% mélasse, 0.5% sel (NaCl). Une pierre à sel et une pierre à oligo-élément étaient disponibles en permanence au fond de chaque case. Les chèvres étaient traitées deux fois par jour entre 6h45 et 7h15 le matin et entre 16h30 et 17h le soir. Les distributions de fourrages ont eu lieu deux fois

par jour à heure fixe pour chaque lot : 9h15 le matin et 18h00 le soir (après la traite). Les chèvres n'ont eu accès qu'à un seul fourrage à la fois. Les refus étaient enlevés avant chaque nouvelle distribution (donc 2 fois par jour à 8h30 et à 16h15). Elles ont eu accès aux cornadis et au fourrage toute la journée (7h) et toute la nuit (14h30), en dehors des heures de traite.



Figure 7 : Dispositif d'auges inclinées utilisé lors des essais réalisés à la ferme expérimentale de Méjusseau.

Afin d'éviter les repousses de fourrage et de permettre aux chèvres de disposer d'une alimentation à volonté jusqu'à la prochaine distribution, des auges avec un plan incliné ont été mises en place (figure 7). Les dimensions étaient les suivantes : 45 cm de profondeur, 1 m de hauteur. Elles permettaient aux chèvres d'avoir accès à l'intégralité du fourrage offert 24h/24.

III. Mesures

Les mesures réalisées au cours des essais sont résumées à la figure 8.

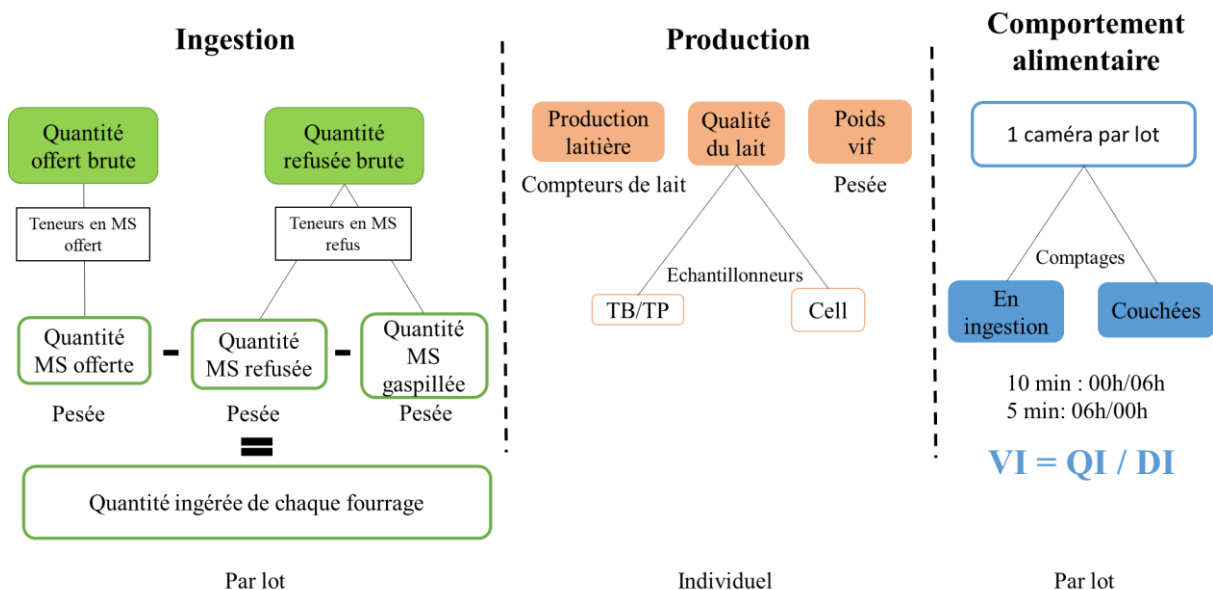


Figure 8 : Bilan des mesures réalisées au cours des essais L2306 et L2307

1. Ingestion

L'ingestion de chaque aliment (kg MS/jour) a été mesurée chaque jour, à l'échelle du lot (fourrages) par différence entre la quantité offerte (corrigée des pertes sur la litière) et la quantité refusée, exprimées en matière sèche (MS). La quantité de MS offerte a été calculée à partir des quantités brutes offertes et de la teneur en MS des aliments correspondants. Il en est de même pour les quantités refusées et gaspillées. Pour le concentré de production, la teneur en MS des refus était considérée égale à celle de l'offert.

$$\text{Quantité MS ingérée} = \text{Quantité MS offerte} - \text{Quantité MS refusée} - \text{Quantité MS gaspillée}$$

1.1. Quantités de fourrages offertes, refusées et gaspillées

Les quantités offertes, refusées et gaspillées ont été pesées avec une balance dotée d'une précision de 0,05 kg, située dans le couloir d'alimentation de la chèvrerie. Les quantités de fourrage à distribuer ont été pesées et préparées une fois le matin pour les distributions du matin et du soir. Les fourrages à distribuer le soir ont été disposés dans des bacs de 20 kg et entreposés devant les cases en attendant leur distribution. L'estimation de la quantité brute de fourrage ingérée chaque jour a permis d'adapter les rations tous les jours afin de se rapprocher le plus possible de l'objectif de 10% de refus.

Les quantités à distribuer le jour J ont été calculées via la formule :

$$\text{Quantité brute offerte } J = (\text{Quantité brute offerte }_{J-1} - \text{Quantité brute refusée }_{J-1}) / 0.9$$

Les refus ont été collectés avec une attention particulière dans l'auge du fait de la répartition non homogène entre les éléments grossiers et les poussières, ramassées à l'aide d'un balai afin de minimiser les pertes. Les quantités de fourrages gaspillées dans la litière ont été déterminées en prélevant les brins dans la litière 2 jours par période. Un fourrage était considéré comme gaspillé s'il avait été tiré dans la litière sans être consommé. Afin de faciliter le repérage des brins gaspillés, la litière de paille était recouverte de copeaux au début de chaque semaine de mesure.

1.2. Teneur en MS des aliments offerts et refusés

Des échantillons de tous les fourrages offerts et refusés ont été collectés tous les jours ouvrés pour l'ensemble des fourrages ainsi que les week-end et les jours fériés pour les échantillons d'herbe offerte (de 600 g pour l'herbe verte et de 300 g pour les autres fourrages). Ceux-ci ont été pesés puis placés dans une étuve ventilée à une température de 60°C pendant une durée de 48 heures et pesés à nouveau afin d'obtenir la teneur en MS.

Quand les conditions météorologiques étaient changeantes, la teneur en MS de l'herbe offerte a pu être estimée après un passage au four à micro-ondes. Cela permettait d'ajuster les quantités d'herbe verte offertes le jour même de la coupe d'herbe et de s'assurer que les chèvres disposent d'herbe à volonté jusqu'à la prochaine distribution.

La teneur en MS du concentré distribué a également été suivie de 3 jours par période.

1.3. Analyses chimiques

A la fin de chaque période, les échantillons collectés lors des semaines de mesures ont été broyés à 0.8 mm afin de réaliser une analyse chimique des fourrages offerts et refusés (analyse effectuée majoritairement au laboratoire de l'UMR PEGASE :

- La teneur en azote des aliments a été déterminée par la méthode Dumas sur l'appareil LECO (Association Française de Normalisation, 1977).
- La teneur en matières minérales a été obtenue par combustion de la matière organique. Les échantillons ont été placés pendant 5 heures dans un four à 550 °C (Association Française de Normalisation, 1977). La teneur en MO est calculée comme $1000 - MM$ (tout en g/kg MS).
- Les teneurs en fibres (NDF, ADF, ADL), ont été quantifiées à l'aide d'un FIBERSAC selon la méthode établie par Van Soest et al. (1991), permettant de calculer les valeurs UFL, PDI, BPR et UEL des fourrages (INRA, 2018 avec Prevalim),
- La digestibilité pepsine cellulase des fourrages offerts a été obtenue par la méthode (Aufreere, 1982) réalisée au laboratoire Laboceca.

Les analyses de la composition chimique des fourrages ont permis de calculer les teneurs en MO et MAT (g/kg MS) de la ration ingérée, en tenant compte du tri des chèvres :

$$\sum (\text{MS}_{\text{offerte}} * t_{\text{offert}}) - (\text{MS}_{\text{refusée}} * t_{\text{refus}}) / \text{MS}_{\text{ingérée}}$$

Avec t : la teneur en matière organique ou azotée des échantillons,

MS : la quantité offerte, refusée ou ingérée en MS

1.4. Mesures spécifiques sur l'herbe (essai L2307)

La hauteur de l'herbe avant et après la fauche a été mesurée à l'aide d'un herbomètre à plateau afin de suivre l'évolution de la pousse de l'herbe dans la parcelle et de gérer de manière optimale les fauches. La composition botanique de l'herbe fauchée a été déterminée grâce à des prélèvements représentatifs d'un kilo d'herbe réalisés 2 jours pas période. Les échantillons ont ensuite été triés en cinq catégories : graminées, trèfles, rumex, pissenlit et autres. Chaque

catégorie a ensuite été séchée à l'étuve ventilée (60°C pendant 48 h) afin de déterminer la composition botanique sur la base des proportions en MS.

2. Comportement alimentaire

Le comportement alimentaire a été étudié par un enregistrement vidéo continu, grâce à des caméras haute-définition (caméra BULLET HIK DS-2CD2625FWD-IES-PRO 2MP 2.8-12MM-IR), et un dépouillement des vidéos. Une caméra grand angle était positionnée au-dessus de chaque lot à une hauteur de 5 m afin d'avoir une vue de l'intégralité de la case.

L'enregistreur était de la marque HIKVISION et de référence DS7600 séries. Les caméras étaient de la marque HIKVISION et de référence DS-2CD625FWDIE-PRO 2 MP-2.8-12mm-IR. La cadence d'enregistrement des caméras était de 12 images par seconde. Le bâtiment n'était pas éclairé la nuit, mais nous avons pu enregistrer le comportement des chèvres grâce à la vision nocturne des caméras infrarouges.

L'étude du comportement alimentaire a été effectuée pour chaque lot via un dépouillement vidéo manuel réalisé à l'échelle du lot puisque les chèvres n'étaient pas identifiées individuellement (Scan sampling). Les vidéos dépouillées correspondaient à deux jours par période pour chaque lot (J11 et J12).

Pour cela, un comptage du nombre de chèvres a été réalisé via un arrêt sur image. La fréquence d'arrêt sur image était de 10 minutes la nuit (de 0h à 6h) et de 5 minutes le jour (de 6h05 à 23h55). Une précision de plus ou moins 30 secondes a été accordée pour chaque arrêt sur image (exemple : entre 12h44'30 et 12h45'30 pour 12h45).

A chaque arrêt sur image, nous avons compté le nombre de chèvres :

- Au cornadis (considérées en ingestion),
- Couchées,
- Autre activité (debout sans ingérer)

Une chèvre était considérée au cornadis lorsque la tête de l'animal avait passé le cornadis ou qu'elle était en contact direct avec le fourrage distribué (figure 10).

Les données sur les différents lots ont été saisies dans une base de données sous tableur. A partir du nombre de chèvres observé au cornadis durant chaque arrêt image réalisé, nous avons pu calculer la durée d'ingestion du lot (DI) pour chaque tranche horaire de 5 ou 10 min :

$$DI = \left(\frac{\text{Nombre de chèvres au cornadis}}{\text{Nb total de chèvre dans le lot}} \right) \times \text{Nb min observation.}$$

Ensuite, pour chaque jour d'observation (2 par période), les DI ont été sommées par fourrage afin d'obtenir la durée d'ingestion totale (DI_t) de chaque fourrage par un lot de chèvres au cours d'une période selon le moment de distribution. Ces calculs ont également été effectués pour les activités couché et autres, qui ont permis d'avoir accès aux durées passées couché ou debout lorsqu'un type de fourrage était dans l'auge. La vitesse d'ingestion (**VI**) en g MS/h a pu être calculée à partir des durées d'ingestion (**DI_t**) de chaque fourrage par lot et par période en min/j et des quantités ingérées (**QI**) en kg MS/j selon la formule : $VI = QI / DI_t$

Les données issues de ces traitements vidéo ont également permis d'établir des cinétiques journalières des activités. Pour chaque traitement, les durées d'ingestion des fourrages ont été moyennées sur les 8 jours d'observations, pour chaque heure de la journée. Nous avons ainsi pu représenter le temps passé par les chèvres au cornadis, en fonction du type de fourrage dans l'auge et de l'heure de la journée, depuis la distribution de matin du jour J au retrait des refus le matin du jour J+1. Idem pour les activités « couché » et « debout hors ingestion ».

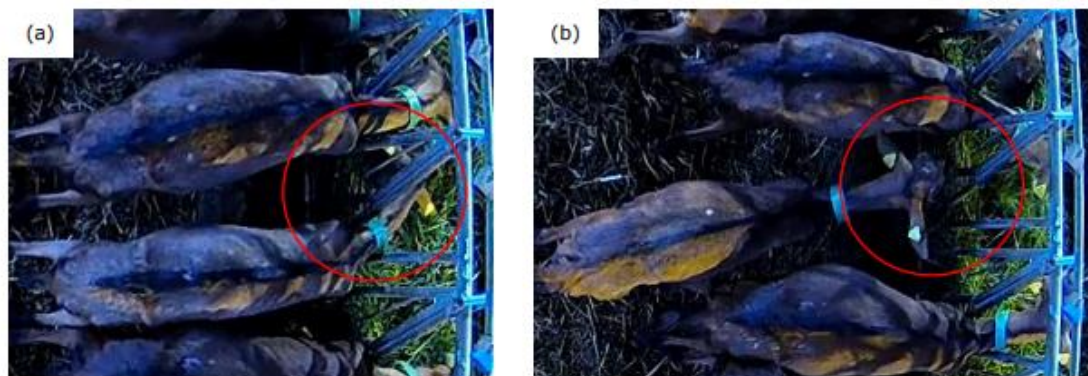


Figure 9 : Activités des chèvres considérées au cornadis avec la tête de l'animal qui est passée dans le cornadis pour manger de l'herbe ou d'autres fourrages (a) ou collée au cornadis pour manger des brins d'herbe tirés dans la case (b) (crédit : Belz, (2022))

3. Production laitière et poids vif

La production laitière de chaque chèvre a été enregistrée quotidiennement lors de chaque traite (2 fois par jour) grâce aux compteurs à lait installés en salle de traite. Les taux butyreux et protéique du lait ont également été mesurés, pour chaque chèvre, lors de la traite du matin et du soir lors des quatre derniers jours de chaque période via une analyse en spectrophotométrie infrarouge (de lundi à jeudi ou vendredi si jour férié) au laboratoire MyLab situé à Chateaugiron (35). Le dénombrement cellulaire a été mesuré un jour par période (J13). Le lait était prélevé

individuellement par les techniciens animaliers grâce à des échantillonneurs posés en dessous des compteurs à lait. Une attention particulière a été portée à l'étape d'homogénéisation du lait dans les flacons, par 3 retournements lents, afin limiter les erreurs notamment liées à l'accumulation de la matière grasse en surface.

Le poids vif des chèvres a été mesuré une fois au début et une fois à la fin de chaque période, le vendredi matin (après la traite et avant la distribution du fourrage).

4. Analyses graphiques et statistiques

Seules les données mesurées (résumées dans la figure 8) durant la deuxième semaine de chaque période (entre J8 et J14) ont été conservées pour réaliser les traitements statistiques.

Avant de procéder à l'analyse statistique des données obtenues, une première analyse graphique a été réalisée. Celle-ci a permis de repérer les quelques erreurs de saisie et de reconsidérer certaines données aberrantes. Par exemple, nous nous sommes assuré que le protocole avait été respecté du point de vue de l'ajustement journalier des quantités distribuées en traçant la quantité de MS ingérée en fonction de la quantité de MS offerte (annexe 3). Les graphiques des productions laitières de chaque chèvre ont également été tracés, certains se trouvent en annexe 4. Ces graphiques ont permis de repérer une variation de production laitière et de pouvoir la relier éventuellement avec un souci de santé car ceux-ci étaient répertoriés. Le calcul des coefficients de variation des taux butyreux et protéiques a aussi permis de repérer les valeurs aberrantes, généralement liées à des erreurs de manipulation (homogénéisation de l'échantillon lors de la collecte). Dans ce cas, la valeur considérée comme aberrante n'était pas prise en compte dans les analyses statistiques.

Les analyses statistiques descriptives et analytiques ont été réalisées avec le logiciel Epsilon W (Delaby L). L'objectif de l'analyse est de savoir si l'ordre de distribution a eu un impact sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des animaux. Les analyses statistiques ont été réalisées à partir des données issues des 7 derniers jours de chaque période. Deux modèles différents ont été utilisés, selon que les données ont été obtenues à l'échelle du lot (ingestion et comportement) ou à l'échelle individuelle (production et poids vif).

Les données sur l'ingestion et sur le comportement, en lots, ont été traitées par analyse de variance selon le modèle suivant :

$$Y = \mu + Li + Pj + Tk + \alpha m$$

Où : Y est la variable analysée,

μ la moyenne générale,

Li l'effet du lot ($n=2$, soit 1 degré de liberté),

Pj l'effet de la période ($n=3$ ou 4 , soit 2 ou 3 degrés de liberté),

Tk l'effet du traitement ($n=2$, soit 1 degré de liberté),

α_m l'erreur résiduelle du modèle

Les données de production laitière et de poids vif représentent une donnée par chèvre et par période. Elles ont été traitées par une analyse de variance selon le modèle suivant :

$$Y = \mu + Ci + Pj + Tk + \alpha l$$

Où : Y est la variable analysée, μ la moyenne,

Ci l'effet de la chèvre ($n=24$, soit 23 degrés de liberté),

Pj l'effet de la période ($n=4$, soit 3 degrés de liberté),

Tk l'effet du traitement ($n=2$, soit 1 degré de liberté)

αl l'erreur résiduelle du modèle

Dans la partie suivante tous les résultats seront exprimés **par chèvre**.

RÉSULTATS

Au cours des essais la température moyenne à l'extérieur de la chèvrerie était de 15,8°C (avec $T_{\min_{\text{moy}}} = 10,5^\circ\text{C}$ et $T_{\max_{\text{moy}}} = 21,8^\circ\text{C}$). La pluviométrie s'est élevée à 80 mm, se concentrant majoritairement sur les 2 premières périodes de l'expérimentation. L'humidité moyenne était de 75% (avec $U_{\min} = 54\%$ et $U_{\max} = 96\%$), ce qui a permis d'estimer un THI⁵ (annexe 5) moyen de 60 (variant de 50,5 à 70). Cependant, nous n'avons pas pu avoir accès aux valeurs de température et d'humidité au sein de la chèvrerie. Ces chiffres sont donc cités ici à titre indicatif.

I. Essai L2306 (Bon et mauvais foin de luzerne)

1. Caractéristiques des fourrages

La teneur en MS moyenne du bon foin de luzerne était de 898 g/kg brut et celle du mauvais foin de luzerne était de 896 g/kg brut. Le bon foin de luzerne était meilleur que le mauvais foin de luzerne (tableau 6), à la fois en énergie (dMO, UF), en azote (MAT, PDI, etc), et moins encombrant que le mauvais foin de luzerne (-0,04 UEL/kg MS). En effet, le bon foin était plus riche en MAT (+ 35 g/kg MS) et donc plus riche en PDI (+ 8 g/kg MS), avec une BPR plus élevée (+ 27 g/kg MS) que le mauvais foin de luzerne. Il était également plus digestible (+ 4%) et plus riche en énergie (+ 0,03 UFL/kg MS) que le mauvais foin de luzerne. De plus, les teneurs en MAT des foins de luzerne refusés étaient systématiquement plus faibles que les teneurs en MAT des foins de luzernes offerts avec des écarts de 60 et 70 g MAT/ kg MS (annexe 10).

Variables	Bon foin de luzerne	Mauvais foin de luzerne	Herbe	Foin de graminées	Concentrés
MS (g/kg brut)	898	896	171	883	890
MO (g/kg MS)	903	912	913	932	939
MAT (g/kg MS)	209	174	155	83	202
PDI (g/kg MS)	94,3	86,3	87,0	66,0	-
BPR (g/kg MS)	63,6	37,0	16,2	-34,5	-
DCS (en % MS)	64	60	67	52	-
dMO (en %)	60,4	58,4	72,1	59,2	-
UFL (/kg MS)	0,72	0,69	0,91	0,70	-
UEL (/kg MS)	0,97	1,01	1,03	1,1	-

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques et valeur alimentaire des aliments offerts au cours des essais L2306 et L2307. Avec MS : Matière Sèche ; MO : Matière organique, MAT : Matières azotées totales ; PDI : Protéines Digestibles dans l'intestin ; BPR : Balance Protéique du Rumen ; DCS : Digestibilité CellulaSe ; dMO : digestibilité de la matière Organique ; UFL : Unité Fourragère Lait ; UEL : Unité d'Encombrement Lait

⁵ $THI = (1,8 * T + 32) - (0,55 - 0,0055 * U) * (1,8 * T - 26)$ avec T la température moyenne et U le taux d'humidité moyen (Vinet et al, 2022)

2. Ingestion

Les proportions de refus pour chacun des foin de luzerne étaient identiques entre traitements ($P>0,05$). Les proportions de refus de bon foin de luzerne étaient en moyenne de 11,8% pour les deux traitements. Les proportions de refus de mauvais foin de luzerne étaient globalement plus élevées, atteignant 19% en moyenne sur les deux traitements (tableau 7). Le gaspillage de bon et de mauvais foin de luzerne par les chèvres était négligeable et similaire pour les deux traitements (en moyenne 2% par rapport à la quantité offerte). En moyenne, les chèvres ont ingéré 2,26 kg MS/j de bon foin de luzerne, 0,53 kg MS/j de mauvais foin de luzerne et 0,58 kg MS/j de concentré de production. La part de bon foin de luzerne ingérée représentait en moyenne 81% des fourrages ingérés. L'ingestion totale moyenne était donc de 3,35 kg MS/j ce qui représente 6,0 % du poids vif.

Variables	Traitements		ETR	Effet traitement ($p<$)
	Mauvais foin matin Bon foin soir	Mauvais foin soir Bon foin matin		
Mauvais foin de luzerne ingéré brut (kg MB/j)	0.34	0.83	0.052	0.0571
Bon foin de luzerne ingéré brut (kg MB/j)	2.90	2.11	0.018	<i>0.0146</i>
Mauvais foin de luzerne ingéré (kg MS/j)	0.30	0.75	0.053	0.0658
Bon foin de luzerne ingéré (kg MS/j)	2.63	1.90	0.025	<i>0.0194</i>
Concentré ingéré (kg MS/j)	0.58	0.58	-	-
Total ingéré (kg MS/j)	3.49	3.22	0.029	0.0563
Proportion de mauvais foin ingéré dans les 2 fourrages offerts	0.105	0.283	0.0162	<i>0.0493</i>
Proportion de bon foin ingéré dans les 2 fourrages offerts	0.895	0.717	0.0162	<i>0.0493</i>
Proportion de refus mauvais foin sur le brut	0.228	0.153	0.0091	0.0673
Proportion de refus bon foin sur le brut	0.122	0.114	0.0029	0.2085
Teneur en MAT de la ration ingérée (g/kg MS)	217	209	2.3	<i>0.0266</i>

En italique : effet significatif de l'ordre de distribution

Tableau 7 : Effet de l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne sur l'ingestion des chèvres laitières (L2306)

Cet essai montre que l'ordre de distribution a impacté l'ingestion des fourrages par les chèvres et la composition fourragère des rations ($P<0,05$). Les chèvres ont eu tendance à ingéré 0,45 kg MS/j de mauvais foin de luzerne en plus (soit + 41%) lorsque celui-ci était distribué le soir plutôt que le matin. Le bon foin de luzerne était également consommé en plus grande quantité (0,73 kg MS/j soit 28%) quand il était distribué le soir plutôt que le matin. La

part de bon foin de luzerne représentait ainsi 90% des fourrages lorsqu'il était distribué le soir contre 72% le matin ($P < 0,05$). La teneur en MAT moyenne de la ration était de 213 g/kg MS et supérieure (8 g/kg MS soit 5%) lorsque le bon foin de luzerne était distribué le soir par rapport au matin ($P < 0,05$). L'ingestion totale tendait également à être plus élevée quand le bon foin de luzerne (0,27 kg MS/j soit 8%) était distribué le soir.

3. Comportement alimentaire

Les chèvres ont passé, en moyenne, 384 min/j à ingérer les fourrages soit environ 6,4 heures. Elles ont passé 781 min/j couchées dans la litière soit environ 13 h/j et 275 min/j debout dans leur case (hors ingestion). Le temps passé à ingérer a été 2,45 fois plus élevé pour le bon foin de luzerne que pour le mauvais foin de luzerne (273 contre 111 min/j). En moyenne, les vitesses d'ingestion du mauvais foin de luzerne et du bon foin de luzerne étaient respectivement de 285 g MS/h et 500 g MS/h. Elles n'ont pas différé selon l'ordre de distribution des fourrages. Les chèvres ont passé 87 min/j (soit 56%) de plus à ingérer le mauvais foin de luzerne lorsqu'il était distribué le soir, par rapport à une distribution le matin ($P < 0,05$). Le temps passé à ingérer le bon foin de luzerne n'a pas différé selon les traitements comme la durée d'ingestion totale.

Variables	Moyenne	Traitements		ETR	Effet traitement ($p <$)
		Mauvais foin matin	Mauvais foin soir		
Durée ingestion mauvais foin de luzerne (min/j)	111	68	155	6.9	<i>0.0425</i>
Durée ingestion bon foin de luzerne (min/j)	273	305	240	19.6	0.1702
Durée ingestion totale (min/j)	384	373	395	26.5	0.5157
Temps passé couché (min/j)	781	794	768	14.5	0.2987
Vitesse d'ingestion mauvais foin de luzerne (g MS/h)	285	270	300	24.4	0.3957
Vitesse d'ingestion bon foin de luzerne (g MS/h)	500	522	479	30.0	0.3515

En italique : effet significatif de l'ordre de distribution

Tableau 8 : Effet de l'ordre de distribution du bon foin et du mauvais foin de luzerne sur le comportement alimentaire des chèvres laitières (L2306).

L'ordre de distribution des fourrages a fortement impacté la durée et la répartition des activités des chèvres (figure 10, tableau 8). Les cinétiques journalières montrent qu'il y a eu un pic d'activité après chaque distribution. Celui-ci a différé selon le fourrage distribué et le moment de distribution : il a atteint 44 min/h pour le bon foin et 26 min/h pour le mauvais foin de luzerne lorsque ces fourrages étaient distribués le matin. Lorsqu'ils étaient distribués le soir,

le pic d'activité atteignait 38 min/h pour le bon foin et 39 min/h pour le mauvais foin. De plus, les chèvres ne passaient que 68 min en ingestion, le matin quand le mauvais foin de luzerne était distribué alors qu'elles passaient 240 min en ingestion le matin quand c'était le bon foin de luzerne qui était distribué. Le soir, elles passaient 155 min en ingestion quand le mauvais foin de luzerne était distribué et 305 min quand c'était le bon foin. Ainsi, après la distribution du matin, les chèvres ont passé 58% de la journée (7h) en ingestion quand le bon foin de luzerne était distribué et seulement 16% lorsque le mauvais foin de luzerne était distribué. Après la distribution du soir, elles ont passé 35% de leur temps en ingestion quand le bon foin était distribué et seulement 18% lorsque le mauvais foin était distribué.

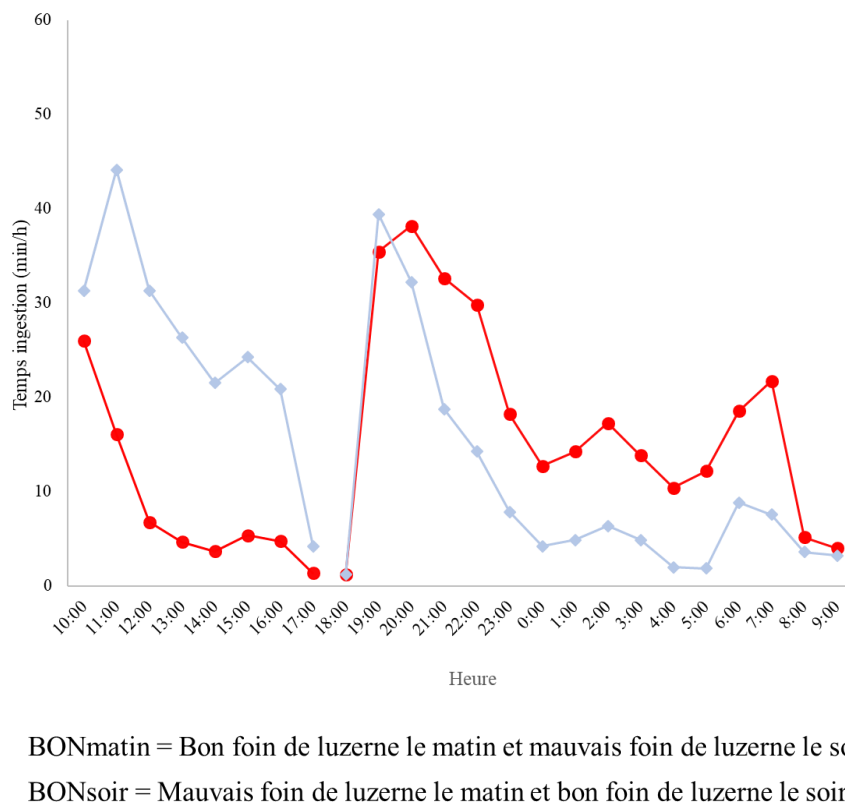


Figure 10 : Cinétique journalière du temps passé par les chèvres laitières en ingestion selon l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne (L2306)

4. Production laitière et poids vif

En moyenne, les chèvres ont produit 4,36 kg de lait par jour avec un taux butyreux de 29,4 g/kg de lait et un taux protéique de 28,6 g/kg de lait (Tableau 9). **L'ordre de distribution a impacté la production et la composition du lait.** La production laitière était plus élevée de 0,30 kg/j (soit 8%) quand le bon foin de luzerne était distribué le soir plutôt que le matin ($P < 0,05$). Le taux protéique a augmenté de 0,4 g/kg de lait lorsque le bon foin de luzerne était distribué le soir ($P < 0,05$) tandis que le taux butyreux n'a pas été modifié. Les productions moyennes de

matières grasses et de matières protéiques étaient respectivement de 128 g/j et de 125 g/j et ont été supérieures lorsque le bon foin de luzerne était distribué le soir + 6 et + 10 g/j, respectivement. La production laitière standardisée était en moyenne de 3,96 kg et était plus élevée (0,25 kg/j) lorsque le bon foin de luzerne était distribué le soir ($P < 0,05$). **L'ordre de distribution a également impacté le poids vif des chèvres mesuré le matin.** Le poids vif des chèvres, mesuré le matin, était plus élevé (+ 5,3 kg) en fin de période avec une distribution du bon foin de luzerne le soir. Les chèvres ont pris en moyenne 6,6 kg/période lorsque le bon foin de luzerne était distribué le soir alors qu'elles ont perdu 2,7 kg/période lorsque le bon foin de luzerne était distribué le matin ($P < 0,05$).

Variables	Moyenne	Traitements		ETR	Effet traitement ($p <$)
		Mauvais foin matin Bon foin soir	Mauvais foin soir Bon foin matin		
Production laitière (kg/j)	4.36	4.51	4.21	0.209	<i>0.0001</i>
Taux butyreux (g/kg lait)	29.4	29.2	29.6	1.87	0.4223
Taux protéique (g/kg lait)	28.6	28.8	28.4	0.44	<i>0.0006</i>
Production de matières grasses (g/j)	128	131	125	9.5	<i>0.0093</i>
Production de matières protéiques (g/j)	125	130	120	7.2	<i>0.0001</i>
Production laitière standardisée (kg/j)	3.96	4.08	3.83	0.199	<i>0.0001</i>
Poids vif (kg)	56.7	59.3	54.0	1.30	<i>0.0001</i>
Variation poids vif (kg/période)	1.9	6.6	-2.7	2.48	<i>0.0001</i>

En italique : effet significatif de l'ordre de distribution

Tableau 9 : Effet de l'ordre de distribution du bon foin et du mauvais foin de luzerne sur la production laitière et le poids vif des chèvres (L2306).

II. Essai L2307 (Herbe verte et foin de graminées)

1. Caractéristiques des fourrages

La hauteur moyenne de l'herbe, mesurée à l'aide d'un herbomètre, était de 19,3 cm avant la fauche et de 6,9 cm après la fauche. La composition botanique moyenne sur les 4 périodes était (en proportion de la MS) la suivante : 61% de graminées, 9% de trèfles, 12% de pissenlit, 6% de rumex et 11% de diverses. La teneur en MS moyenne de l'herbe était de 171 g/kg brut et celle du foin de graminées était de 883 g/kg brut. L'herbe était meilleure que le foin de graminées (tableau 6) à la fois en énergie (dMO, UF), en azote (MAT, PDI, etc), et moins encombrante (-0,07 UEL/kg MS). En effet, l'herbe était plus riche en MAT (+ 72 g/kg MS) et

donc plus riche en PDI (+ 21 g/kg MS), avec une BPR plus élevée (+ 51 g/kg MS) que le foin de graminées. Elle était également plus digestible (+ 13%) et plus riche en énergie (+ 0,21 UFL/kg MS) que le foin de graminées. Les teneurs en MAT des refus (herbe et foin de graminées) étaient systématiquement plus faibles que les teneurs en MAT des fourrages offerts avec un écart de 16 g MAT/ kg MS (annexe 10).

2. Ingestion

Les proportions de refus pour le foin de graminées et l'herbe étaient identiques selon les traitements ($P>0,05$). Les proportions de refus d'herbe étaient en moyenne de 12,8% pour les deux traitements. Les proportions de refus de foin de graminées étaient globalement plus élevées, atteignant 25,8% en moyenne sur les deux traitements (tableau 7). Le gaspillage de graminées et d'herbe verte par les chèvres était négligeable et similaire pour les deux traitements (en moyenne 2% par rapport à la quantité offerte). En moyenne, les chèvres ont ingéré 1,57 kg MS/j d'herbe verte, 0,2 kg MS/j de foin de graminées et 0,58 kg MS/j de concentré de production. La part d'herbe ingérée représentait en moyenne 89% de l'ingestion des fourrages. L'ingestion totale moyenne était donc de 2,35 kg MS/j, ce qui représente 4,3% du poids vif.

Variables	Traitements		ETR	Effet traitement ($p<$)
	Herbe matin Foin G soir	Herbe soir Foin G matin		
Herbe ingérée brut (kg MB/j)	9.05	10.20	0.233	<i>0.0164</i>
Foin de graminées ingéré brut (kg MB/j)	0.28	0.17	0.026	<i>0.0235</i>
Herbe ingérée (kg MS/j)	1.48	1.67	0.061	<i>0.0475</i>
Foin de graminées ingéré (kg MS/j)	0.25	0.15	0.024	<i>0.0264</i>
Concentré ingéré (kg MS/j)	0.58	0.58	-	-
Total ingéré (kg MS/j)	2.31	2.40	0.054	0.1537
Proportion d'herbe ingérée dans les 2 fourrages offerts	0.856	0.914	0.0115	<i>0.0154</i>
Proportion de foin de graminées ingéré dans les 2 fourrages offerts	0.144	0.086	0.0115	<i>0.0154</i>
Proportion de refus d'herbe sur le brut	0.134	0.121	0.0215	0.4925
Proportion de refus de foin sur le brut	0.225	0.291	0.0473	0.1872
Teneur en MAT de la ration (g/kg MS)	164	166	1.4	0.2239

En italique : effet significatif de l'ordre de distribution

Tableau 10 : Effet de l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées sur l'ingestion des chèvres laitières (L2307)

L'ordre de distribution a impacté l'ingestion des chèvres et la composition fourragère des rations. Les chèvres ont ingéré 0,11 kg MS/j de foin de graminées en plus (soit +40%) lorsque celui-ci était distribué le soir plutôt que le matin ($P<0,05$). L'herbe verte était également consommée en plus grande quantité (0,19 kg MS/j soit 12%) quand elle était distribuée le soir plutôt que le matin ($P<0,05$). La part d'herbe verte représentait ainsi 91% de la ration lorsqu'elle était distribuée le soir contre 86% pour une distribution le matin ($P<0,05$). La teneur en MAT moyenne des rations était de 165 g/kg MS en moyenne et n'a pas été modifiée par l'ordre de distribution. L'ingestion totale n'a pas différé selon les traitements.

3. Comportement alimentaire

Les chèvres ont passé, en moyenne, 410 min/j à ingérer les fourrages, soit environ 6,8 heures. En moyenne, les chèvres ont passé 749 min/j couchées dans la litière soit environ 12h30/j, et 280 min/j debout (hors ingestion). Le temps passé à ingérer l'herbe verte a été 5,2 fois plus élevé que celui passé à ingérer le foin de graminées (344 min/j contre 66 min/j) (Tableau 11). Les vitesses d'ingestion moyennes de l'herbe verte et du foin de graminées étaient respectivement de 276 g MS/h et 177 g MS/h. La vitesse d'ingestion de l'herbe a augmenté (+23 g MS/h soit 8%) quand celle-ci était distribuée le matin par rapport au soir ($P<0,05$). Lorsque le foin de graminées était distribué le matin, la vitesse d'ingestion a également eu tendance à augmenter (25 g MS/h soit 15%, $P<0,10$). Les chèvres ont passé 68 min/j de plus à ingérer de l'herbe lorsque celle-ci était distribuée le soir par rapport à une distribution le matin (+18%, $P<0,05$). De la même manière, le temps passé en ingéré le foin de graminées a augmenté quand celui-ci a été distribué le soir par rapport à une distribution le matin ($P<0,05$). Au final, les chèvres ont passé davantage de temps, au total, en ingestion (+24 min/j soit +6%) lorsque l'herbe était distribuée le soir ($P<0,05$).

Variables	Moyenne	Traitements		ETR	Effet traitement ($p<$)
		Herbe Matin Foin G soir	Foin G matin Herbe soir		
Durée ingestion foin de graminées (min/j)	66	88	45	3.0	<i>0.0017</i>
Durée ingestion herbe verte (min/j)	344	310	378	4.4	<i>0.0015</i>
Durée ingestion totale (min/j)	410	398	422	2.5	<i>0.0035</i>
Temps passé couché (min/j)	750	764	736	20.7	0.2001
Vitesse d'ingestion foin de graminées (g MS/h)	177	164	189	11.9	0.0946
Vitesse d'ingestion herbe verte (g MS/h)	276	288	265	5.7	<i>0.0262</i>

En italique : effet significatif de l'ordre de distribution

Tableau 11 : Effet de l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées sur le comportement alimentaire des chèvres laitières (L2307)

L'ordre de distribution des fourrages a très fortement impacté la durée et la répartition des activités des chèvres (figure 11, tableau 11). Les cinétiques journalières montrent qu'il y a eu un pic d'activité après chaque distribution. Celui-ci diffère selon le fourrage distribué et le moment de distribution : il a atteint 58 min/h pour l'herbe et seulement 16 min/h pour le foin de graminées lorsque ces fourrages étaient distribués le matin. Lorsqu'ils étaient distribués le soir, le pic d'activité atteignait 56 min/h pour l'herbe et 24 min/h pour le foin de graminées. De plus, les chèvres ne passaient que 45 min en ingestion le matin quand le foin de graminées était distribué alors qu'elles passaient 310 min en ingestion le matin quand l'herbe était distribuée. Le soir, elles passaient 88 min en ingestion quand le foin de graminées était distribué et 378 min quand c'était l'herbe. Ainsi, après la distribution du matin, les chèvres ont passé 75 % de la journée (7h) en ingestion quand l'herbe était distribuée et seulement 11% lorsque le foin de graminées était distribué. Après la distribution du soir, elles ont passé 43% de leur temps en ingestion quand l'herbe était distribuée et seulement 10% lorsque le foin de graminées était distribué.

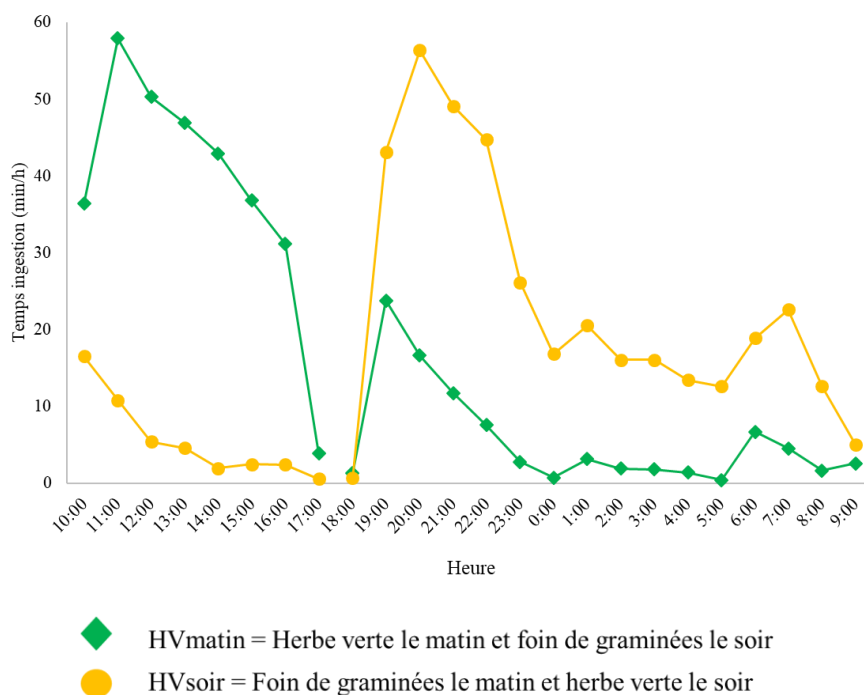


Figure 11 : Cinétique journalière du temps passé par les chèvres laitières en ingestion selon l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées (L2307)

4. Production laitière et poids vif

En moyenne, les chèvres ont produit 3,15 kg de lait par jour avec un taux butyreux de 32,4 g/kg de lait et un taux protéique de 27,1 g/kg de lait (Tableau 12). **L'ordre de distribution n'a**

impacté ni la production ni la composition du lait ($P>0,05$). Les taux n'ont pas été impactés par l'ordre de distribution des fourrages. Les productions de matières grasses et protéiques moyennes ont été respectivement de 102 g/j et de 85,3 g/j et n'ont pas été impactées par l'ordre de distribution des fourrages. La production laitière standardisée moyenne était de 2,95 kg/j et n'a pas été impactée par l'ordre de distribution ($P>0,05$). **L'ordre de distribution a impacté le poids vif des chèvres laitières.** Le poids vif, mesuré le matin, a été significativement plus élevé (+ 2,8 kg) lorsque les chèvres disposaient de l'herbe verte le soir ($p<0,05$). Enfin, les chèvres ont pris en moyenne 3,3 kg/période lorsque l'herbe verte était distribuée le soir tandis que lorsque c'était le foin de graminées qui était distribué le soir, nous observons une perte de poids (1,7 kg/période).

Variables	Moyenne	Traitements		ETR	Effet traitement ($p<$)
		Herbe matin Foin G soir	Herbe soir Foin matin		
Production laitière (kg/j)	3.16	3.14	3.18	0.220	0.3766
Taux butyreux (g/kg lait)	32.5	32.3	32.7	2.03	0.3562
Taux protéique (g/kg lait)	27.1	27.2	27.1	1.22	0.9417
Production de matières grasses (g/j)	102	101	103	9.4	0.2785
Production de matières protéiques (g/j)	85.4	85	86	7.9	0.5278
Production laitière standardisée (kg/j)	2.95	2.93	2.98	0.227	0.3026
Poids vif (kg)	54.0	52.6	55.4	1.61	<i>0.0001</i>
Variation poids vif (kg/période)	0.8	-1.7	3.3	2.22	<i>0.0001</i>

En italique : effet significatif de l'ordre de distribution

Tableau 12 : Effet de l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées sur la production laitière et le poids vif des chèvres (L2307).

DISCUSSION

Les résultats obtenus durant cette étude sont nouveaux. Ils nous permettent de mieux comprendre l'effet de l'ordre de distribution des fourrages sur l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières en milieu de lactation et d'apporter des réponses aux questions pratiques des éleveurs. Cette discussion reprend les hypothèses posées en début d'étude au regard des résultats obtenus et permet de mieux appréhender l'impact de ces pratiques.

I. Conditions expérimentales

Les conditions météorologiques ont été propices à la réalisation des essais. Nous avons noté une augmentation de la température moyenne (et du THI) durant la dernière période (P4). Cela n'a cependant pas été à l'origine d'une perturbation du niveau d'ingestion, de production laitière ou d'une modification comportementale des chèvres. En effet, elles sont restées dans une gamme de THI tout à fait correcte (entre 50 et 70) puisque les premiers effets sur la production laitière sont observés pour des THI compris entre 80 et 85 chez les chèvres laitières (Silanikove et Koluman, 2014). Les essais se sont également bien déroulés du point de vue de la conduite des animaux, avec des conditions d'accès à l'alimentation identiques entre les traitements et conformes aux objectifs. Chaque chèvre avait une place au cornadis lors de chaque distribution. Aucun refus de concentré n'a été observé en salle de traite. Aucun souci durant les essais sur la santé, le comportement ou l'état général des chèvres n'a été observé. De plus, la durée de la phase d'adaptation, lors d'un changement d'ordre de distribution semble avoir été suffisante puisque les quantités offertes étaient relativement stables au bout de quelques jours après un changement d'ordre (Charpentier & Delagarde, 2016, Charpentier et al., 2019). L'accès à volonté aux fourrages a été contrôlé en maintenant un taux de refus entre 10% et 15%. En effet, les taux de refus ont été généralement maîtrisés sauf lorsque les quantités distribuées étaient très faibles en raison du très faible niveau d'ingestion (mauvais foin de luzerne dans l'essai L2306 et foin de graminées dans l'essai L2307). Par exemple, la quantité offerte de foin de graminées a été maintenue à 1 kg minimum par jour pour un lot de 12 chèvres (soit 83 g par chèvre), même si les refus étaient supérieurs à 15%, sinon les quantités distribuées auraient fini par être nulles étant donné la très nette préférence des chèvres pour l'herbe. Tous les fourrages ont donc été disponibles à volonté pour l'ensemble des chèvres (pourcentage de refus toujours au-dessus de 10%) afin qu'elles expriment au mieux leurs préférences alimentaires, ainsi que leur comportement de tri très marqué (Morand-Fehr et al., 1980).

Enfin, la teneur en MAT moyenne des rations était de l'ordre de 200 et 160 g/kg MS dans les essais L2306 et L2307, respectivement. Les essais ont donc été réalisés avec des teneurs en MAT non limitantes, égales ou supérieures aux recommandations (INRA, 2018). L'herbe, notamment, était suffisamment pourvue en azote. En effet, il est recommandé d'avoir au minimum 140 g/kg MS d'azote dans l'herbe offerte afin de maintenir une bonne activité microbienne chez les ruminants laitiers à fort niveau d'ingestion (Peyraud, 2000).

II. Comparaison des performances zootechniques des chèvres dans les deux essais

Il semble important de souligner les écarts observés en termes de performances zootechniques des chèvres entre les deux essais. En effet, les chèvres de l'essai L2306 ayant reçu le régime à base de luzerne ont produit 1,2 kg/j de lait de plus (soit 28%) que celles ayant reçu le régime à base d'herbe et de foin de graminées. Ceci est en grande partie lié au fait qu'elles ont ingéré 1,0 kg MS/j de plus (soit 42%) que lorsqu'elles ont reçu la ration à base d'herbe. En effet, la production laitière est largement déterminée par l'apport en matière sèche et par l'efficacité de la digestion de l'alimentation qui dépend des valeurs UF et PDI (Chilibroste, et al., 2005; INRA, 2018).

Variables	L2306	L2307	Ratio luzerne/herbe
	Bon foin de luzerne Mauvais foin de luzerne	Herbe verte Foin de graminées	
Stade de lactation initial* (j)	41.9	41.1	1.02
Proportion de primipares*	0.25	0.25	1.00
Production laitière initiale* (kg/j)	3.3	3.0	1.10
Poids vif initial*(kg)	52.9	51.2	1.03
Production laitière (kg/j)	4.36	3.16	1.41
Poids vif (kg)	56.7	54.0	1.05
Total ingéré (kg MS/j)	3.35	2.35	1.43
Total fourrages ingérés (kg MS/j)	2.78	1.77	1.57
Teneur en MAT de l'ingéré (g/kg MS)	213	165	1.29
PL/MSI (kg lait/kg MS ingéré)	1.33	1.34	0.99

*Conditions initiales à la mise en lots

Tableau 13 : Comparaison des performances zootechniques des chèvres laitières dans les deux essais L2306 et L2307

Les forts écarts d'ingestion entre les deux essais (Tableau 13) ne s'expliquent pas par les écarts de capacité d'ingestion des chèvres entre les essais puisque les caractéristiques de chèvres en pré-essai sont très proches. Il y avait un écart de production de 0,3 kg de lait lors de la mise en lot, ce qui correspond à 0,07 UEL d'écart sur la capacité d'ingestion (INRA, 2018). Il y avait

également un écart de 1,7 kg de poids vif entre les chèvres des deux essais à la mise en lots, ce qui correspond à 0,03 UEL. Au total l'écart est de 0,1 UEL sur la capacité d'ingestion, ce qui correspond à environ 0,1 kg de MS et ne permet pas d'expliquer l'écart de MSI observé de 1,0 kg MS entre les deux essais. Ces différences ne s'expliquent pas non plus par des écarts de valeurs UE estimés des fourrages. En effet, si l'on estime les valeurs UE des deux rations, elles sont a priori très proches, puisque chaque ration comporte un fourrage de faible valeur UE (0,97 à 1,03 pour le bon foin de luzerne et l'herbe) et un fourrage de valeur UE plus élevée (1,01 à 1,10 pour le mauvais foin de luzerne et le foin de graminées). De plus, le système INRA (2018) prévoit une ingestion de légumineuses 10 à 20% plus élevée pour les légumineuses que pour les graminées car les légumineuses possèdent une valeur d'encombrement plus faible. Ici, le total de fourrages ingérés avec les foins de luzerne est nettement supérieur à celui de l'essai avec l'herbe et le foin de graminées (environ + 36%). Il est alors possible de supposer que la valeur UEL du foin de luzerne est mal estimée pour les chèvres et qu'elle pourrait être plus faible que celle donnée dans les tables INRA. En effet, l'ingestion volontaire et donc la valeur UE des fourrages est déterminée par la MAT, l'appétence, la dégradation ruminale, la vitesse d'ingestion élevée, qui pourraient être à l'origine des différences observées.

III. L'ordre de distribution a fortement impacté l'ingestion de chaque fourrage

Au cours des deux essais, nous avons observé que l'ordre de distribution a fortement impacté l'ingestion des 4 fourrages utilisés, chacun des fourrages ayant été systématiquement plus ingéré lorsqu'il a été distribué le soir plutôt que le matin (tableau 14).

Essai	Fourrages	MSI matin (kg MS/j)	MSI soir (kg MS/j)	Delta MSI soir/matin (kg MS)	Delta MSI soir/matin (en %)
2306	Bon foin de luzerne	1.90	2.63	+0,73	+41%
	Mauvais foin de luzerne	0.30	0.75	+0,45	+60%
2307	Herbe verte	1.48	1.67	+0,19	+12%
	Foin de graminées	0.15	0.25	+0,10	+40%

Tableau 14 : Effet de la distribution des fourrages le soir sur l'ingestion des chèvres laitières, par rapport à une distribution le matin

Ceci pourrait s'expliquer par les 3 hypothèses définies au début de ce mémoire :

- Le temps d'accès au fourrage
- Le moment de distribution des fourrages (le matin ou le soir),
- Les préférences relatives exprimées par les chèvres

Un effet logique du temps d'accès sur l'ingestion

Il semble logique qu'un temps d'accès deux fois plus long au fourrage le soir et la nuit (plus de 14 h) que le jour (environ 7 h) entraîne une augmentation de la quantité ingérée de celui-ci (en moyenne + 35%). Cette augmentation a été d'autant plus importante, en pourcentage, que le fourrage est consommé dans des quantités faibles au cours de la journée (tableau 14). Cependant, il semblerait que cela entraîne des adaptations comportementales des chèvres notamment lorsque le temps d'accès à l'herbe est restreint le matin (essai L2307). Dans l'essai L2307, quand l'herbe est distribuée le matin pendant le temps d'accès le plus court, les chèvres s'adaptent en augmentant leur vitesse d'ingestion (+ 23 g MS/h soit + 9%) et en concentrant leurs activités d'ingestion le matin pour compenser la réduction du temps d'accès. En effet, elles passent 75% de leur temps du matin à ingérer et seulement 15 % couchées afin de maximiser leur ingestion d'herbe car il s'agit du fourrage qu'elles préfèrent et son ingestion est faible en MS, même s'il possède la vitesse d'ingestion en brut la plus élevée.

Essai	Fourrage	MSI matin kg MS	DI matin min	VI matin g MS/h	MSI soir % matin	DI soir % matin	VI soir % matin
L2204	Herbe verte	1.36	235	320	+25%	+52%	-17%
	EM-TS	0.39	50	408	+208%	+252%	-14%
L2303	Foin Luz	1.29	190	406	+39%	+32%	+5%
	EM	1.21	113	635	+22%	+33%	-7%
L2304	Foin Luz	1.28	190	403	+33%	+34%	-0%
	Enrubannage	0.93	147	377	+31%	+24%	+7%
L2306	Bon foin Luz	1.9	240	479	+38%	+27%	+8%
	Mauvais foin Luz	0.3	68	270	+245%	+228%	+11%
L2307	Herbe verte	1.48	310	265	+13%	+22%	-9%
	Foin de graminées	0.15	45	164	+163%	+95%	-15%

Tableau 15 : Comparaison des quantités ingérées, des durées et des vitesses d'ingestion par type de fourrages en fonction du moment de distribution. Les résultats obtenus avec une distribution le soir sont exprimés en pourcentage par rapport à ceux obtenus avec une distribution le matin (Belz, (2022) et Delsol, (2023), voir tableau 3 pour le détail des essais). Avec EM-TS : ensilage de maïs et tourteau de soja ; Luz : luzerne ; MSI : Matière Sèche Ingérée ; DI : Durée d'Ingestion ; VI : Vitesse d'Ingestion ; % matin : rapport soir/matin

Dans un essai du projet MaxForGoat réalisé précédemment, cela a également pu être constaté avec une ration à base d'herbe et d'un mélange maïs ensilage/tourteau de soja (Belz, 2022). La vitesse d'ingestion de ces fourrages était plus élevée lorsque ceux-ci sont distribués le matin (+15% en moyenne), pendant le temps d'accès le plus court (tableau 15). En revanche, ces résultats n'ont pas été observés dans les essais L2303/04 (Delsol, 2023 ; tableau 15) et L2306 avec les foins de luzerne. Dans ce cas, la réduction du temps d'accès aux fourrages (le matin) n'a pas entraîné d'augmentation de la vitesse d'ingestion significative.

Dans la bibliographie, ces modifications comportementales ont également été observées à l'auge dans des situations de réduction de temps d'accès au fourrage sur des bovins laitiers. Les essais réalisés sont récapitulés en annexes 15. Il a été montré, chez les bovins, que le niveau d'ingestion diminue en moyenne de 15 à 20% quand le temps d'accès à la nourriture est restreint à 4 ou 5 h par jour (Ingrand, 2000). L'augmentation de la vitesse d'ingestion (+5 à 15 g MS/min selon les essais) ne compense jamais la réduction du temps d'accès à l'auge. Ainsi les capacités comportementales des vaches laitières à s'adapter à une restriction du temps d'accès au fourrage dans l'auge sont très importantes, notamment par une forte augmentation du taux d'ingestion (pourcentage du temps disponible passé à ingérer) et de la vitesse d'ingestion (Ingrand, 2000). Charpentier et Delagarde (2016) montrent également que les chèvres au pâturage valorisent au maximum le temps d'accès en donnant la priorité à l'ingestion, reportant ainsi les activités de repos et de rumination après le retour en bâtiment. Il y a alors une réduction de la durée d'ingestion (100 min/j, soit 30%, lorsqu'on passe d'un temps d'accès de 8 h à 4 h) et une augmentation de la vitesse d'ingestion d'herbe (15%) afin de réduire le moins possible la quantité ingérée. Dans notre étude, les chèvres continuaient d'exercer leur mécanique de tri quand elles étaient contraintes par le temps d'accès au fourrage. En effet, les teneurs en MAT des refus de chaque fourrage étaient systématiquement plus faibles que celle des fourrages offerts dans les deux essais réalisés (annexe 12). Les résultats obtenus montrent que les chèvres ont ingéré systématiquement plus après la distribution du soir (pendant un temps plus long) et qu'elles maintiennent une activité d'ingestion la nuit principalement quand le fourrage préféré est dans l'auge. Ceci signifie que le **moment de distribution** et le fait que les chèvres aient un rythme d'activité circadien, avec un temps d'alimentation plus important pendant la journée, et plus de temps de rumination et de repos la nuit (Moyo et al., 2019) a eu un effet négligeable par rapport à celui du temps d'accès au fourrage. Notons que ces essais ont été conduits au printemps, c'est-à-dire en période de jours longs. Nous pouvons émettre l'hypothèse que nous avons maximisé l'écart possible entre matin et soir car les essais ont été conduits en jours (donc

soir) longs. Ces résultats pourraient donc être différents en jours courts (automne/hiver), avec une durée du jour courte ou nulle après la distribution du soir.

En moyenne, dans chaque essai, les chèvres ont exprimé une préférence pour un fourrage

L'autre hypothèse qui pourrait modifier l'impact de l'ordre de distribution sur l'ingestion des fourrages concerne **les choix/préférences exprimé(e)s par les chèvres**, c'est-à-dire qu'elles sont aptes à choisir ou non de consommer un fourrage en fonction de la palatabilité relative de celui-ci, ou bien de sa composition chimique, par rapport au second fourrage offert. Ici, la préférence des chèvres pour un fourrage a été évaluée par la quantité de MS relative de chaque fourrage consommé à même temps d'accès et au même moment de distribution, en moyenne sur l'essai. Par exemple, les chèvres ont consommé 2,63 kg MS de bon foin de luzerne et 0,75 kg MS de mauvais foin de luzerne lorsqu'ils étaient distribués le soir. Par conséquent, nous qualifions de fourrage préféré, le fourrage ayant été consommé en plus grande quantité dans l'association quel que soit l'ordre de distribution. C'est le cas pour l'herbe par rapport au foin de graminées (Herbe : 1,58 kg MS/j et foin de graminées : 0,20 kg MS/j) et du bon foin de luzerne par rapport au mauvais foin de luzerne (Bon foin : 2,26 kg MS/j et mauvais foin : 0,52 kg MS/j), en moyenne. **Les chèvres semblent donc pouvoir se restreindre quasiment toute la journée, en particulier quand le fourrage qu'elles préfèrent était distribué le soir.** Dans la littérature, il a été montré à plusieurs reprises que les chèvres, comme les autres ruminants, peuvent très bien exprimer leurs préférences en situation de choix synchrone entre deux fourrages (Ginane, 2002 ; Hadjigeorgiou et al., 2003 ; Cellier, 2020). Nous avons montré, grâce à ces essais, qu'elles sont tout à fait capables de le faire aussi en situation de choix asynchrone (matin/soir), en se privant et en reportant leur ingestion au moment où le fourrage qu'elles préfèrent est dans l'auge, ce qui n'avait pas encore été ni étudié ni montré jusqu'à maintenant.

Il y a plusieurs hypothèses concernant les raisons des choix réalisés par les chèvres, notamment la palatabilité des fourrages. Pour rappel, le terme palatabilité est défini comme : l'ensemble des caractéristiques physiques et chimiques de l'aliment qui agissent sur l'appétit de l'animal et impliquent donc des réponses sensorielles (Jarrige, 1988). Dans notre étude, les cinétiques journalières des comportements observés lorsque le mauvais foin de luzerne (L2306) et le foin de graminées (L2307) (fourrages non préférés) sont distribués sont complètement différentes de celles observées avec les fourrages préférés. Lors des distributions des fourrages non préférés, les chèvres ne venaient pas immédiatement toutes au cornadis, certaines restaient couchées dans leur case (annexes 10 et 11). D'ailleurs, la proportion du temps de la tranche du

matin et du soir passé couché pour ces fourrages varie très peu (Mauvais foin : 68% matin et 69% soir ; Foin de graminées : 72% matin et 73% soir). Les vitesses d'ingestion moyennes de ces fourrages - qui traduisent l'état de motivation de l'animal à consommer un aliment (Jarrige, 1988) - sont également bien plus faibles que pour le bon foin de luzerne et l'herbe (43 et 37% plus faibles respectivement dans les essais L2306 et L2307). Ceci pourrait être relié à la plus faible palatabilité des fourrages en question par rapport aux autres, mais pourrait être également lié au fait qu'elles ont satisfait leur capacité d'ingestion avec le fourrage qu'elles préfèrent lors de la distribution précédente. Selon Baumont (1996), les différences de quantités ingérées ne peuvent pas uniquement être attribuées à la palatabilité et sont également le résultat de modifications digestives, métaboliques et hormonales provoquées par les différents repas. Dans notre étude, les écarts de digestibilité de la matière organique (dMO) – principale composante de l'énergie nette - sont plus importants en ce qui concerne l'herbe et le foin de graminées (12,9 points) et plus faibles pour les foins de luzernes (4 points). Dans notre étude, les fourrages avec les dMO et les valeurs UF les plus élevées sont ceux qui étaient ingérés en plus grande quantité et le plus rapidement, quel que soit l'ordre de distribution. Ce qui est cohérent avec l'affirmation que les animaux développent des préférences pour les fourrages qui leur apportent le plus d'énergie et leur permettent d'atteindre rapidement un état de satiété élevé (Baumont, 1996). Nous pouvons également citer la teneur en MAT du fourrage comme facteur influençant les choix des chèvres. Dans notre étude, les fourrages les plus riches en MAT dans les associations proposées sont ceux qui sont consommés en plus grande quantité et le plus rapidement, quel que soit l'ordre de distribution des fourrages. Ceci n'a pas été observé dans un essai précédent du projet (essai L2204), où l'herbe verte était préférée au mélange ensilage de maïs et soja, alors qu'elle était moins riche en MAT, voire déficitaire en MAT (102 g/kg MS). Les chèvres ne sélectionnent donc pas toujours l'aliment le plus riche en MAT, il existe d'autres critères de sélection. Par ailleurs, la vitesse d'ingestion est négativement reliée à la fibrosité des aliments, notamment car cela entraîne une plus grande résistance à la mastication. Les aliments préférés par les ovins et les caprins sont donc généralement les moins riches en fibres et les plus digestibles (Hadjigeorgiou et al., 2003). Nous avons observé que les légumineuses sont ingérées 40% plus vite que les graminées. Cette ingestion plus rapide des légumineuses par rapport aux graminées pourrait donc s'expliquer par la plus faible fibrosité des feuilles et une meilleure appétibilité (Jarrige, 1988). Nous ne pouvons pas encore vérifier cette hypothèse, car nous ne disposons pas pour le moment d'analyses concernant les fibres. Ainsi, dans le cadre de cette étude, les fourrages préférés par les chèvres au sein des deux essais ont été : les plus riches en azote, en énergie et les plus digestibles (meilleure valeur alimentaire).

IV. L'ordre de distribution a faiblement impacté l'ingestion totale et la production laitière

Nos observations permettent d'établir que les variations de quantité de MS ingérées totales et de production laitière sont plus faibles que les variations d'ingestion de chaque fourrage, lorsque l'ordre de distribution est modifié. En effet, contrairement à l'ingestion de chaque fourrage qui a été fortement impactée par le temps d'accès au fourrage et les préférences de chèvres, nous avons établi que l'ordre de distribution a eu tendance à impacter plus faiblement la quantité totale ingérée par les chèvres et la production laitière. Ce qui semble logique, car lorsqu'un fourrage est consommé en plus grande quantité, l'autre fourrage distribué est consommé en quantité plus faible, les chèvres étant limitées par leur capacité d'ingestion. Dans le cas de **l'essai L2306**, nous avons constaté que lorsque le fourrage préféré, à savoir le bon foin de luzerne, est distribué le soir (temps d'accès long) les quantités ingérées totales par les chèvres étaient légèrement supérieures (+0,27 kg MS soit 8%) entraînant une augmentation de la production laitière et des productions des matières grasses et protéiques du lait. Ces observations peuvent s'expliquer par de multiples facteurs. Notamment par le fait que lorsque le bon foin était distribué le soir, la MSI était plus importante et la ration possédait une dMO plus importante, ce qui implique également plus d'énergie (UF) dans la ration. De plus, l'apport d'énergie par la ration étant supérieur, cela pourrait expliquer l'augmentation du taux protéique et de la production de matières protéiques du lait (Flamant et Morand-Fehr, 1982). En effet, l'énergie permet de stimuler la synthèse protéique notamment celle des caséines, ce qui s'avère intéressant du point de vue de la transformation fromagère et donc du paiement du lait. Ces observations sont particulièrement intéressantes pour un éleveur qui souhaiterait améliorer sa production laitière et la qualité de son lait, sans modifier la part de concentré dans la ration. Dans le cas de **l'essai L2307**, la distribution de l'herbe verte le soir a également eu tendance à entraîner une augmentation de la quantité totale ingérée par les chèvres. En revanche, cet impact est moins net que dans l'essai L2306, car les chèvres sont parvenues à ingérer quasiment autant d'herbe quand le temps d'accès est restreint en augmentant leur vitesse d'ingestion. La distribution de l'herbe le soir a également eu tendance à augmenter la production laitière. Ainsi, l'ordre de distribution a tendance à modifier la production et la composition du lait, mais il est difficile d'établir une règle générale concernant les raisons de ces changements, car de multiples facteurs peuvent expliquer les tendances observées tels que la quantité ingérée, la digestibilité ou encore la valeur énergétique et azotée de la ration.

V. Implications pour les systèmes d'alimentation en élevages caprins laitiers

L'ensemble de nos résultats suggère donc que pour favoriser la valorisation (ingestion totale) des fourrages au sein d'une exploitation caprine laitière, le fourrage préféré par les chèvres, généralement celui de meilleure valeur alimentaire, doit être distribué le soir, pour être à disposition pendant une longue durée, ce qui permet aux chèvres d'en manger une plus grande quantité, tandis que l'ingestion du fourrage de moins bonne valeur distribué le jour est peu réduite. Ceci est contraire avec la recommandation de IDELE (2011), qui préconise - sans préciser de la durée du jour et de la nuit - de distribuer le fourrage de meilleure valeur alimentaire la journée afin de ne pas pénaliser l'ingestion des chèvres au cours de la journée, et avec le fait que les chèvres concentrent normalement leur activité d'ingestion le jour et de rumination la nuit. Ces résultats montrent surtout les capacités adaptatives des chèvres lors d'une modification de l'ordre de distribution, qui, par leur capacité à réaliser des choix et à restreindre fortement leur ingestion lorsque le fourrage non préféré est offert, entraînent des modifications de la composition de la ration qu'elles ingèrent au cours d'une journée. Cela démontre également la possibilité pour un éleveur, en fonction de ses stocks et/ou de ses objectifs de production, d'adapter l'ordre de distribution de ses fourrages afin de permettre la meilleure valorisation possible et de favoriser son autonomie alimentaire. Cela souligne également l'importance de prendre en compte le temps d'accès au fourrage et les préférences des chèvres qui impactent très fortement l'ingestion de chaque fourrage. En effet, la distribution du fourrage préféré par les chèvres le soir, qui entraîne une légère augmentation de la MS totale ingérée, permet d'améliorer la valorisation fourragère et de produire plus de lait à partir des fourrages, ce qui est intéressant au vu du prix actuel des concentrés. De plus, nos résultats montrent que les quantités ingérées après la distribution du soir sont supérieures à celles ingérées après la distribution du matin. Ce qui implique que la diminution du stock de fourrage distribué le soir est beaucoup plus rapide que le stock de celui distribué le matin, ce qui peut être intéressant à savoir pour l'éleveur du point de vue de la gestion de son stock, en particulier s'il veut valoriser un fourrage de qualité plus faible, que les chèvres seraient amenées à trier et à ingérer en faibles quantités au cours de la journée en laissant beaucoup de refus.

VI. Limites méthodologiques

Un manque de puissance statistique pour les données mesurées en lots

Mesurer l'ingestion et le comportement alimentaire en lot a été un problème majeur du point de vue de la puissance statistique de cette étude. Nous avons pallié cette difficulté cette année,

en réalisant les essais sur 4 périodes au lieu de 3, comme cela avait été fait l'année dernière. Nous avons pu mettre en évidence des écarts significatifs sur les données de production laitière, mesurées sur chaque chèvre. En revanche, les écarts mesurés sur l'ingestion et le comportement alimentaire ne l'ont pas systématiquement été en raison d'une puissance statistique toujours faible malgré l'ajout d'une 4^{ème} période (tableau 16).

Essai	L2306	L2307
Variables	3 périodes ETR = 0,029	4 périodes ETR = 0,054
ddl total	5	7
ddl modèle	4	5
ddl résiduelle	1	2
t student	12,71	4,30
Ppds	0,30	0,16

Avec ETR : Ecart Type Résiduel ; ddl : le nombre de degré de liberté, t student : le coefficient de student pour un niveau de confiance à 95% et ppds : la plus petite différence significative

Tableau 16 : Bilan de la puissance statistique de cette étude sur 3 ou 4 périodes sur l'ingestion totale

Cependant, suite à une erreur de livraison des foins de luzerne de la part du fournisseur, nous n'avons pu utiliser que les données des 3 premières périodes pour l'essai L2306. Ceci n'a pas empêché l'obtention de résultats significatifs en raison des choix très marqués des chèvres entre les 2 foins de luzerne. Afin de confirmer des tendances observées, nous avons également utilisé un modèle avec un effet jour hiérarchisé dans l'effet période pour l'ingestion et le comportement alimentaire. Les résultats sont en annexes et montrent des effets très significatifs du traitement sur les différentes variables, ce qui nous permet de confirmer les tendances observées sur l'ingestion et le comportement alimentaire. Cependant, les résultats de ce modèle n'ont pas été utilisés, car les données ne sont pas indépendantes. La puissance statistique pourrait encore être améliorée en répétant par exemple les essais une autre année ou en divisant chaque lot par 2 (lots de 6 chèvres) pour avoir plus de répétitions et d'individus statistiques.

Des auges inclinées pour une accessibilité permanente au fourrage

Il est à souligner que l'utilisation d'auges inclinées (anti-repousse) a nécessité une distribution de l'alimentation manuelle, ce qui ne serait pas utilisable en élevage où la distribution des fourrages est généralement automatisée et dans un couloir d'alimentation. Cependant, nos résultats sont transposables en élevage caprin à partir du moment où le fourrage est accessible, c'est-à-dire que des repousses régulières sont réalisées au cours de la journée, en cas de couloir d'alimentation. Le plus important est que le fourrage soit accessible pour qu'il puisse être consommé par les chèvres.

Un poids vif mesuré le matin difficilement interprétable

Ces essais ont montré que le poids des chèvres était différent selon l'ordre de distribution des fourrages. En particulier, lorsque le fourrage préféré était distribué le soir. Le poids vif des chèvres était plus élevé (5,3 kg soit 9%) lorsque le bon foin de luzerne était distribué le soir que lorsque la distribution avait lieu le matin. Il était également plus élevé (2,8 kg soit 5%) lorsque l'herbe était distribuée le soir que lorsque sa distribution avait lieu le matin. Cependant, étant donné que les chèvres ont été pesées systématiquement le matin durant les essais, les variations de poids vif ont d'abord reflété les écarts d'ingestion et de cinétique d'ingestion entre traitements, car les niveaux d'ingestion étaient plus élevés la nuit. Ces écarts ne constituent pas réellement une variation du poids vif moyen. Par conséquent, ces variations sont à interpréter avec précaution. Pour avoir accès à un « vrai » poids vif moyen, il faudrait peser les chèvres aussi le soir et faire la moyenne des 2 poids mesurés.

VII. Perspectives

Il s'agirait de réaliser le bilan des expérimentations

Les essais réalisés sur l'ordre de la distribution en 2022/23, montrent des tendances similaires, à savoir que l'ordre de distribution impacte l'ingestion de chaque fourrage et donc la composition des rations et dans une moindre mesure l'ingestion totale et la production laitière des chèvres. Les différentes associations de fourrages étudiées ont permis d'aborder la diversité des systèmes alimentaires. Mais cela reste une problématique complexe étant la diversité des systèmes et de pratiques qui existent. Il serait intéressant de tester d'autres combinaisons de fourrages afin de représenter davantage la diversité des systèmes et de pouvoir établir des recommandations générales et des recommandations qui soient plus spécifiques à une association de fourrage.

Une étude de l'impact de la longueur du jour

Il pourrait être intéressant de réaliser des essais en jours courts afin de comparer les réponses des chèvres en jours courts et en jours longs. Si les réponses étaient différentes, il pourrait être nécessaire d'adapter les recommandations en fonction de la saison.

Une étude de l'impact du moment de la fauche de l'herbe

De plus, il serait pertinent de réaliser un nouvel essai avec une fauche d'herbe le soir quand la distribution d'herbe verte a lieu le soir comme le ferait un éleveur. En effet, au cours de nos essais, la fauche de l'herbe était réalisée une fois le matin pour les distributions du matin et du

soir. Au cours de la journée, la photosynthèse opère dans la prairie, ce qui modifie la composition de l'herbe. Elle est plus riche en sucres et plus pauvre en MAT et autres éléments nutritifs (phénomène de dilution) en fin de journée (Delagarde et al, 2000). Ceci la rend généralement plus appétente pour les chèvres et pourrait accentuer la préférence des chèvres pour ce fourrage.

Et une étude de l'ingestibilité des fourrages

Il est important de souligner que nous avons observé des préférences relatives lorsque deux fourrages sont offerts dans la même journée. Pour aller plus loin, et affiner les recommandations, il faudrait mesurer l'ingestibilité de chaque fourrage lorsqu'on ne distribue qu'un seul fourrage au cours de la journée à volonté.

CONCLUSION

Les objectifs de ces essais étaient de comprendre comment l'ordre de distribution des fourrages pouvait impacter l'ingestion, la production et le comportement alimentaire des chèvres laitières, afin de revoir/affiner les recommandations sur les pratiques de distribution. Les deux essais mis en place dans le cadre du projet MaxForGoat ont permis d'établir que l'ingestion des fourrages était plus importante lorsqu'ils étaient distribués le soir plutôt que le matin, quel que soit le fourrage distribué (+ 35%). Cela a entraîné des modifications de la composition des rations. La proportion du fourrage distribué le soir augmente de 11% en moyenne dans la ration. Nous avons également pu observer que la modification de l'ordre de distribution des fourrages a entraîné des modifications comportementales des chèvres. Lorsque le fourrage préféré était distribué le matin, les chèvres ont augmenté leur vitesse d'ingestion et reporté leurs autres activités (dans le cas de l'essai avec l'herbe verte) car le temps d'accès au fourrage préféré, généralement de meilleure valeur alimentaire, était restreint. De plus, l'herbe verte a été préférée au foin de graminées (ratio MSI = 89 : 11) et le bon foin de luzerne a été préféré au mauvais foin de luzerne (ratio MSI = 81 : 19). Ces ratios ont été atteints car les chèvres ont montré une forte capacité à attendre le fourrage qu'elles préfèrent et à reporter leur ingestion. Si nous savions que les chèvres étaient capables de faire des choix, d'exprimer des préférences, nous avons montré qu'elles en sont même capables quand les fourrages sont distribués de manière asynchrone. Enfin, l'ordre de distribution des fourrages a eu tendance à entraîner une augmentation de la MSI, à l'origine d'une augmentation de la production laitière et d'une modification de la qualité du lait lorsque le fourrage préféré est distribué le soir. Mais les variations de MSI sont beaucoup plus faibles que celle de l'ingestion de chaque fourrage. Ainsi, nos résultats suggèrent qu'une distribution du fourrage de meilleure valeur alimentaire le soir (plutôt que le matin après la traite) permettra une meilleure ingestion totale des fourrages. Cela ouvre des perspectives quant à l'amélioration de la valorisation des fourrages et de l'autonomie alimentaire et protéique par le biais d'un pilotage fin des pratiques de distribution.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abijaoudé, J. A., Morand-Fehr, P., Tessier, J., Schmidely, P., & Sauvant, D. (2000). Diet effect on the daily feeding behaviour, frequency and characteristics of meals in dairy goats. *Livestock Production Science*, 64, 29-37.
- Aldezabal, A., & Garin, I. (2000). Browsing preference of feral goats (*Capra hircus* L.) in a Mediterranean mountain scrubland. *Journal of Arid Environments* 44, 133-142.
- ANICAP, 2017. Plan de la filière caprine française. (s. d.). <https://anicap.org/actions/plan-de-la-filiere-caprine-francaise-2018-2022>
- Association Française de Normalisation. (1977). Aliments des animaux—Dosage de l'azote—Méthode par combustion (DUMAS)—NF V18-120 ; Dosage des cendres brutes—NF V18-101. (AFNOR éditions.).
- Aufrere, J. (1982). Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Annales de Zootechnie*, 31, 111-130.
- Baumont, R. (1996). Palatabilité et comportement alimentaire chez les ruminants. *INRAE Productions Animales*, 9, 349-358.
- Baumont, R., Cohen-Salmon, D., Prache, S., & Sauvant, D. (2004). A mechanistic model of intake and grazing behaviour integrating sward architecture and animal decisions. *Animal Feed Science and Technology*, 112, 5-28.
- Bossis, N., & Jost, J. (2016). Observatoire de l'alimentation des chèvres laitières françaises. *Fiches IDELE*, 4p.
- Bossis, N., Jost, J., Guinamard, C., De Boissieu, C., & Boutin, M. (2015). Accompagner le développement de l'autonomie alimentaire en élevage caprin laitier. https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjHzJ30w4GBAxV2RKQEHYbbC2IQFnoECA0QAQ&url=http%3A%2F%2Freddcap.terredeschèvres.fr%2FIMG%2Fpdf%2Fcr_developpement_autonomie_alimentaire.pdf&usg=AOvVaw2rCJsaqLTkglSBRVyoMcxY&opi=89978449
- Bourbouze, A., & Guessous, F. (1977). La chèvre et l'utilisation des ressources dans les milieux difficiles. Symp. *La chèvre des pays méditerranéens, Malaga, Grenada, Murcia (Espagne)*, 3-7
- Brunschwig, P., Devun, J., Guinot, C., Ballot, N., Bèche, J. M., & Le Doaré, C. (2012). L'autonomie alimentaire des troupeaux bovins en France: état des lieux et perspectives. *Institut de l'Elevage, CNIEL, CIV*.

- Bluet, B., & Bossis, N. (2022). En élevage caprin, des solutions pour maîtriser son coût alimentaire Comment éviter un dérapage des coûts alimentaires sur fond de nouvelle flambée du prix des matières premières ? <https://idele.fr/detail-article/en-elevage-caprin-des-solutions-pour-maitriser-son-cout-alimentaire>
- Caillat, H., Bruneteau, E., Ranger, B., Furstoss, V., Guillet, I., Paraud, C., Hoste, H., El Korso, R., Delagarde, R., Quenon, J., Bossis, N., & Guillouet, P. (2016). Conception de systèmes d'élevages caprins laitiers durables : Transition agro-écologique du dispositif Patuchev. *Rencontres Recherches Ruminants*, 23, 247-250.
http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_4_Systemes__H-Caillat.pdf
- Cellier, M. (2020). Caractérisation phénotypique du comportement alimentaire chez la chèvre laitière. Thèse Université Paris-Saclay. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-03181148>
- Ceppatelli, A., Cremilleux, M., Gourdon, B., Martin, B., & Michaud, A. (2022). The order of forage distribution seems to affect the fermentability of the milk, *Rencontres Recherches Ruminants*, p 550.
- Charpentier, A., & Delagarde, R. (2016). Comportement alimentaire des chèvres laitières au pâturage lors de leur première mise à l'herbe, puis en fonction de la gestion du pâturage. *Rencontres Recherches Ruminants*, 23, 251-254.
- Charpentier, A., Caillat, H., Gastal, F., & Delagarde, R. (2019). Intake, milk production and grazing behaviour responses of strip-grazing dairy goats to daily access time to pasture and to dehydrated lucerne supplementation. *Livestock Science*, 229, 90-97.
- Chilibroste, P., Gibb, M. J., & Tamminga, S. (2005). Pasture characteristics and animal performance. *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, CAB International, 681-706.
- Colli, L., Lancioni, I., Cardinali, I., Olivieri, A., Capodiferro, M. R., Pellicchia, M., Rzepus, M., Zamani, W., Naderi, S., Gandini, F., Vahidi, S. M. F., Agha, S., Randi, E., Battaglia, V., Sardina, M. T., Protolano, B., Rezaei, H. R., Lymberakis, P., Boyer, F., Coissac, E., Pompanon, F., Taberlet, P., Marsan, P.A., & Achilli, A. (2015). Whole mitochondrial genomes unveil the impact of domestication on goat matrilineal variability. *BMC Genomics* 16. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2342-2>
- Delagarde, R., Peyraud, J. L., Delaby, L., & Faverdin, P. (2000). Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin—cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal Feed Science and Technology*, 84, 49-68.

- Dulphy, J., Elmeddah, Y., & Baumont, R. (1988). Ingestive Activities and Diurnal Rumen Content Variations in Sheep as Affected by Feeding Frequency. *Reproduction Nutrition Development*, 28, 919-929.
- Dulphy, J. P., & Faverdin, P. (1987). L'ingestion alimentaire chez les ruminants : Modalités et phénomènes associés. *Reproduction Nutrition Development*, 27, 129-155.
- Escareño, L., Salinas-Gonzalez, H., Wurzinger, M., Iñiguez, L., Sölkner, J., & Meza-Herrera, C. (2012). Dairy goat production systems : Status quo, perspectives and challenges. *Tropical Animal and Health Production*, 17-34
- FAO, 2017. FAOSTAT. (s. d.). <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QA/visualize>
- Flamant, J. C., and P. Morand-Fehr. Milk production in sheep and goats. (1982). *Sheep and goat production*. Elsevier, Amsterdam, 275-295.
- Geoffroy, F. (1974). Etude comparée du comportement alimentaire et mérycique de deux petits ruminants : La chèvre et le mouton. *Annales de Zootechnie, Volume 23*, 63-73.
- Ginane, C., Petit, M., Baumont, R., & Lassalas, J. (2000). L'ingestibilité des fourrages pourrait orienter les choix alimentaires, et le choix stimuler l'ingestion. *Rencontre autour des Recherches sur les Ruminants*, 7, p126.
- Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvant, D., & Friggens, N. C. (2020). Repeatability of traits for characterizing feed intake patterns in dairy goats : A basis for phenotyping in the precision farming context. *Animal* 14, 1083-1092.
- Goetsch, A. L., Gipson, T. A., Askar, A. R., & Pushala, R. (2010). Invited review : Feeding behavior of goats. *Journal of Animal Science* 88, 361-373.
- Görgülü, M., Boğa, M., Serbest, U., Şahin, A., Kutlu, H. R., & Şahinler, S. (2008). Diet selection and eating behaviour of lactating goats subjected to time restricted feeding in choice and single feeding system. *Small Ruminant Research*, 78, 41-47.
- Hadjigeorgiou, I. E., Gordon, I. J., & Milne, J. A. (2003). Comparative preference by sheep and goats for Graminaeae forages varying in chemical composition. *Small Ruminant Research*, 49, 147-156.
- Hoste, H., Manolaraki, F., Arroyo-Lopez, C., Torres Acosta, J. F. J., & Sotiraki, S. (2013). Spécificités des risques parasitaires des chèvres au pâturage : Conséquences sur les modes de gestion, *Fourrages*, 212, 319-328.
- IDELE. (2011). L'alimentation pratique des chèvres laitières, Institut de l'Élevage, France, 216 p.
- IDELE. (2021). Le pâturage en élevage caprin. p 180.
<https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&ua>

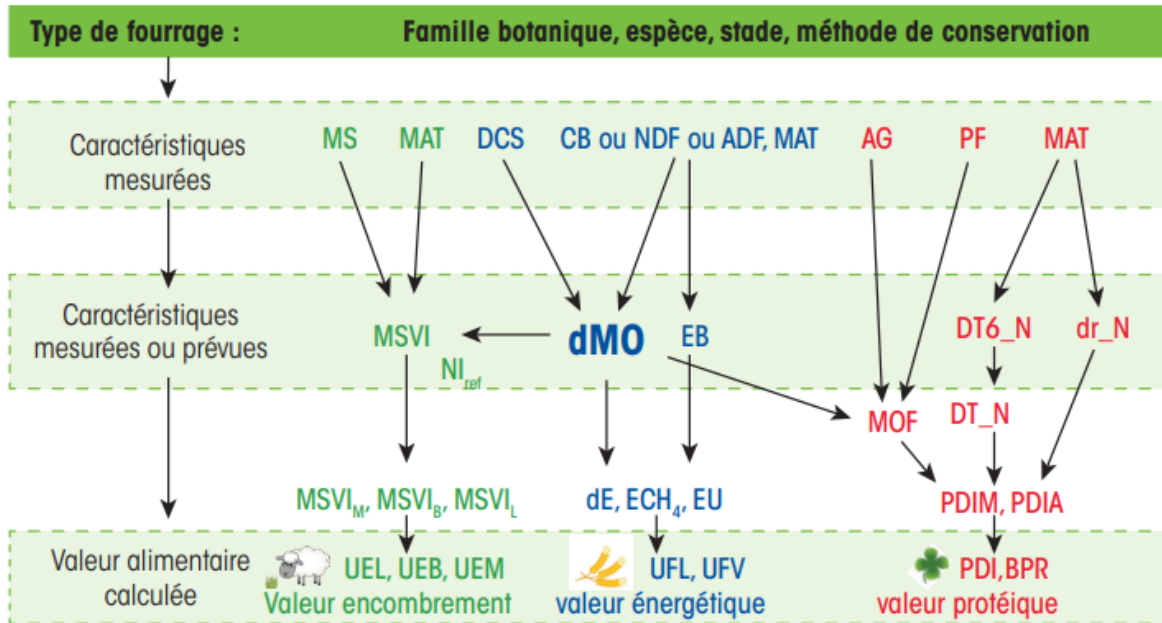
ct=8&ved=2ahUKEwiC9c6VyYGBAxWqcKQEHSFKD4AQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fidele.fr%2Fdetail-article%2Fle-paturage-en-elevage-caprin&usg=AOvVaw3CPB8jxUWsWDLTvp9s2Ia&opi=89978449

- Inda, D., Jacquot, A.-L., Marent, G., & Disenhaus, C. (2019). Autonomy and forage grasses in goat farming of western France. First results of a sociological survey. *Joint Meeting of the FAO-CIHEAM Network for Research and Development in Sheep and Goats (Subnetworks on Nutrition and Production Systems) and the FAO-CIHEAM Subnetwork for Research and Development of Mediterranean Forage*, 305-308.
- Ingrand, S. (2000). Comportement alimentaire, quantités ingérées et performances des bovins conduits en groupe. *INRAE Productions Animales*, 13, 151-163.
- INRA. 2010. Alimentation des bovins, ovins, caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments. Tables INRA 2007, mise à jour 2010. *Editions Quae, Versailles, France*, 312p.
- INRA. 2018. Alimentation des ruminants. *Editions Quae, Versailles, France*, 728p.
- Institut de l'élevage, FCL. (2019). Résultats De Contrôle Laitier—Espèce Caprine. France. http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/resultats-de-contrôle-laitier-france-2019.html
- Jarrige, R., Alimentation des bovins, ovins et caprins. (1988). *INRA Editions*, 471 p.
- Jarrige, R., Ruckebusch, Y., Demarquilly, C., Farce, M-H., & Journet, M. (1995). Nutrition des ruminants domestiques, ingestion et rumination, *INRA Editions, Paris*, 922p.
- Jarrige, R., Dulphy, J. P., Faverdin, P., Baumont, R., & Demarquilly, C. (1995). Activités d'ingestion et de rumination. *Nutrition des ruminants domestiques, ingestion et digestion*, chapitre 4, p. 124-179.
- Jean-Blain, C. (2002). Introduction à la nutrition des animaux domestiques, *Technique & Documentation*.
- Meier, J. S., Liesegang, A., Louhaichi, M., Hilali, M., Rischkowsky, B., Kreuzer, M., & Marquardt, S. (2014). Intake pattern and nutrient supply of lactating sheep selecting dried forage from woody plants and straw offered in binary or multiple choice. *Animal Feed Science and Technology*, 1-12.
- Moyo, M., Adebayo, R. A., & Nsahlai, I. V. (2019). Effects of diet and roughage quality, and period of the day on diurnal feeding behaviour patterns of sheep and goats under subtropical conditions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32, 675-690.
- Morand-Fehr, P. (2003). Dietary choices of goats at the trough. *Small Ruminant Research*, 49, 231-239.

- Morand-Fehr, P. (2005). Recent developments in goat nutrition and application : A review. *Small Ruminant Research* 60, 25-43.
- Morand-Fehr, P., Hervieu, J., & Sauvant, D. (1980). Contribution à la description de la prise alimentaire de la chèvre, *Reproduction Nutrition Développement*, 20, 1641-1644.
- Niderkorn, V., & Baumont, R. (2009). Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animal*, 951-960.
- Nielsen, B. L. (1999). On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint, *Applied Animal Behaviour Science*, 63, 79-91.
- Provenza, F. D., Villalba, J. J., Dziba, L. E., Atwood, S. B., & Banner, R. E. (2003). Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Ruminant Research*, 49, 257-274.
- Van Soest, P., Robertson, & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
- Vinet, A., Mattalia, S., Roxane, V., Bertrand, C., Bertuzzi, P., Cuyabano, B. C., & Boichard, D. (2022, December). Etude de la tolérance à la chaleur des bovins par l'étude des interactions entre génotype et indice température-humidité sur la production et la santé de la mamelle en race Montbéliarde. *Rencontres Recherches Ruminants*, 26, 191-195.

ANNEXES

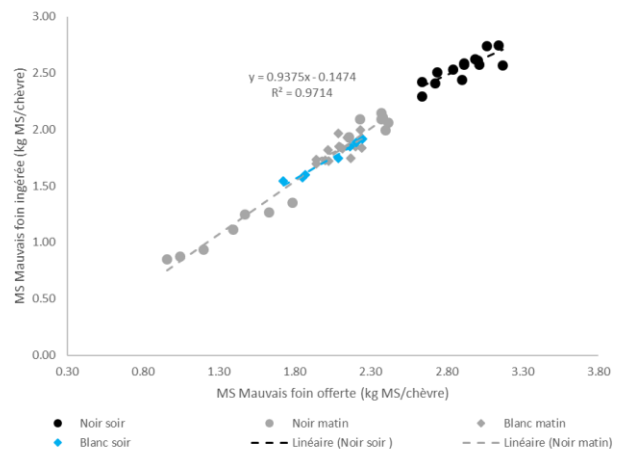
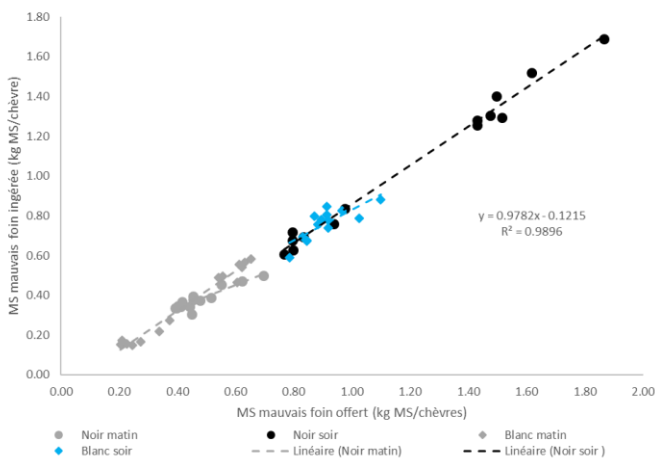
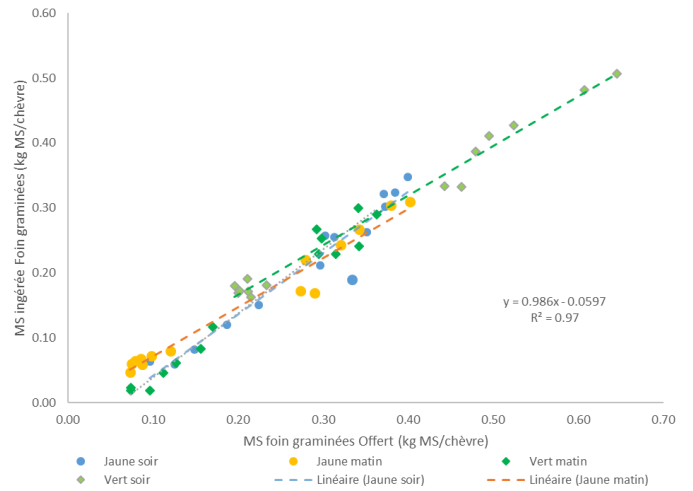
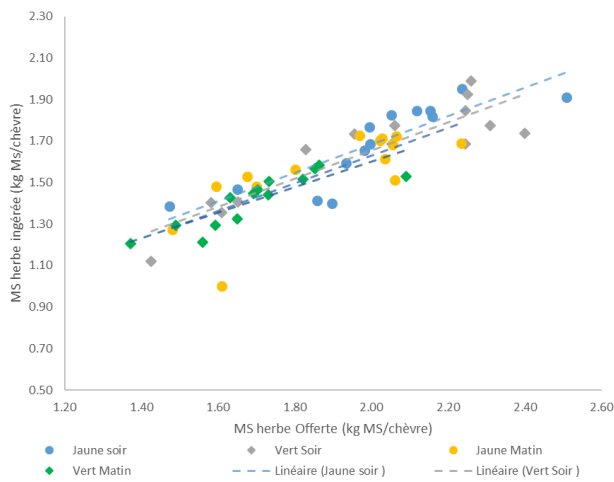
Annexe 1: Démarche de calcul de la valeur alimentaire des fourrages à base d'herbe (adapté de INRA, 2018 par IDELE)



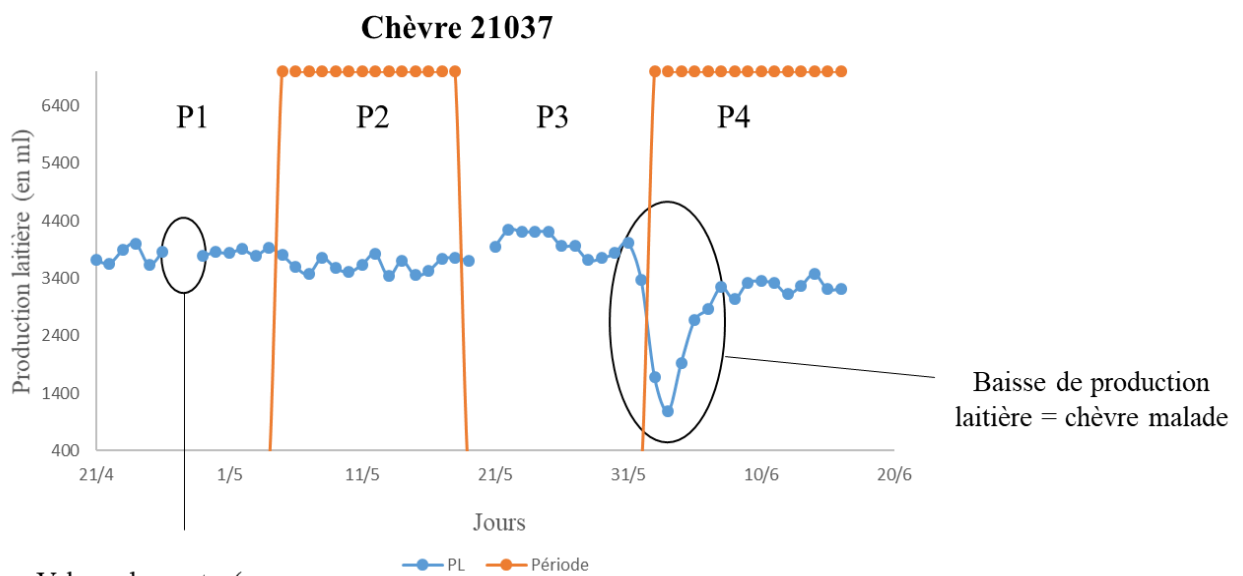
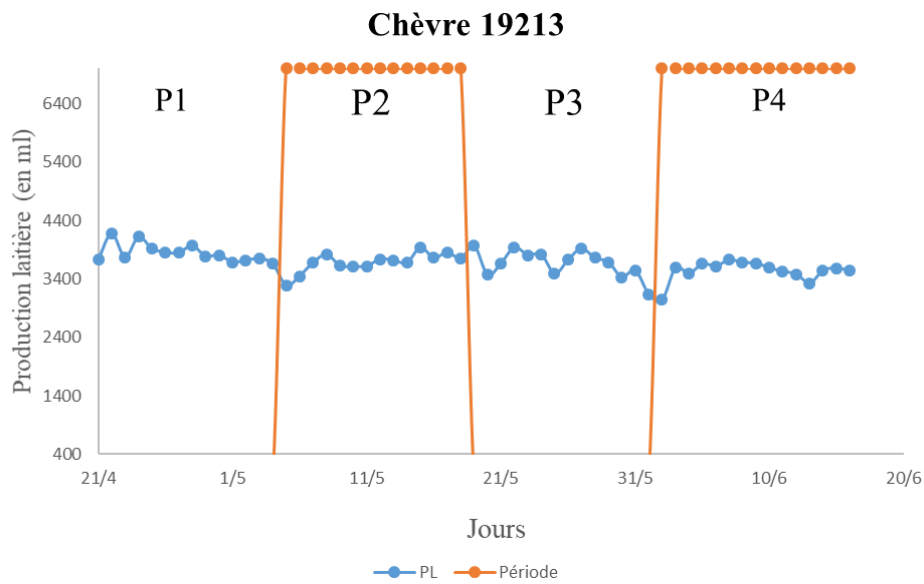
Annexe 2 : Caractéristiques individuelles des chèvres laitières à la mise en lot

Lot	ID_ANIM AL	Numéro lactation	Stade de lactation (j)	Age (an)	TBP (g/kg)	TPp (g/kg)	PL (kg)	MGp (g/ch/j)	MPp (g/ch/j)	PLS (kg/ch/j)	PVmoy
Jaune	17162	4	35	6.1	29.5	25.4	2.71	80	69	2.40	56.7
Jaune	19027	4	44	4.2	33.3	28.3	4.09	136	116	3.91	56.6
Jaune	19213	4	39	4.1	39.2	28.5	4.12	162	118	4.28	65.9
Jaune	20411	3	41	3.2	32.7	27.5	3.15	103	87	2.97	47.2
Jaune	20517	3	35	3.1	40.5	31.5	2.20	89	69	2.37	50.0
Jaune	21022	2	42	2.2	33.8	30.1	3.18	108	96	3.11	57.4
Jaune	21035	2	44	2.2	31.1	26.0	3.29	102	85	3.00	48.6
Jaune	21118	2	40	2.2	33.1	29.3	2.39	79	70	2.30	49.4
Jaune	21141	2	39	2.2	36.1	25.5	3.14	113	80	3.06	50.2
Jaune	22025	1	44	1.2	34.0	25.1	2.46	84	62	2.32	41.9
Jaune	22030	1	46	1.2	26.2	26.1	2.37	62	62	2.00	41.5
Jaune	22068	1	44	1.1	30.8	27.7	2.45	76	68	2.26	46.6
Vert	18086	4	43	5.1	33.3	27.5	3.28	109	90	3.12	57.7
Vert	18096	4	39	5.1	38.1	31.6	3.19	121	101	3.33	61.2
Vert	19001	4	42	4.2	34.3	28.4	4.51	155	128	4.38	54.3
Vert	20456	3	40	3.1	27.7	23.2	3.58	99	83	3.02	56.9
Vert	20472	3	43	3.1	32.2	25.6	3.04	98	78	2.80	52.4
Vert	21037	2	39	2.2	29.3	27.3	3.22	94	88	2.88	51.5
Vert	21046	2	42	2.2	31.9	29.3	2.79	89	82	2.64	51.0
Vert	21063	2	35	2.2	33.0	29.1	2.56	84	75	2.46	45.2
Vert	21068	2	37	2.2	27.4	24.0	2.95	81	71	2.50	46.6
Vert	22090	1	46	1.1	35.4	30.5	2.35	83	72	2.35	45.6
Vert	22100	1	42	1.1	42.8	27.4	2.27	97	62	2.45	49.1
Vert	22109	1	45	1.1	35.0	28.9	1.84	64	53	1.81	43.5
Noir	18113	4	42	5.1	29.5	30.2	4.74	140	143	4.36	66.3
Noir	18242	4	46	5.1	35.0	31.7	3.60	126	114	3.62	70.0
Noir	19002	4	41	4.2	34.2	30.9	3.97	136	123	3.93	58.2
Noir	20455	3	36	3.1	31.6	26.4	3.70	117	98	3.41	52.6
Noir	20532	3	39	3.1	37.0	27.2	2.49	92	68	2.49	50.6
Noir	21041	2	41	2.2	32.7	26.0	3.31	108	86	3.08	52.9
Noir	21047	2	44	2.2	33.8	25.2	3.36	114	85	3.16	56.5
Noir	21086	2	41	2.2	32.5	24.9	3.29	107	82	3.03	52.1
Noir	21090	2	42	2.2	37.2	27.0	3.16	118	85	3.16	47.7
Noir	22003	1	42	1.2	31.8	25.4	2.55	81	65	2.33	45.0
Noir	22024	1	35	1.2	33.2	29.2	2.35	78	69	2.26	39.5
Noir	22029	1	44	1.2	30.7	25.8	2.77	85	71	2.50	41.7
Blanc	17005	4	40	6.2	33.4	25.2	4.83	161	122	4.51	63.5
Blanc	19052	4	44	4.2	35.0	29.3	4.57	160	134	4.52	66.7
Blanc	19215	4	43	4.1	29.8	29.6	4.36	130	129	4.01	58.1
Blanc	20466	3	44	3.1	36.0	26.8	2.89	104	77	2.84	47.7
Blanc	20486	3	42	3.1	34.0	29.7	2.96	100	88	2.89	51.1
Blanc	21013	2	40	2.2	29.0	26.9	2.68	78	72	2.38	55.5
Blanc	21026	2	43	2.2	36.1	28.4	3.00	108	85	2.99	55.5
Blanc	21036	2	41	2.2	33.5	28.0	3.36	112	94	3.21	55.9
Blanc	21064	2	42	2.2	34.4	27.2	3.03	104	82	2.92	52.4
Blanc	22043	1	47	1.1	38.9	27.4	2.39	93	66	2.45	47.6
Blanc	22048	1	40	1.1	30.8	26.7	2.32	71	62	2.11	38.4
Blanc	22069	1	46	1.1	27.4	24.3	2.89	79	70	2.45	44.8

Annexe 3: Evolution de la matière sèche ingérée en fonction de la matière sèche offerte (L2307 en haut et L2306 en bas)

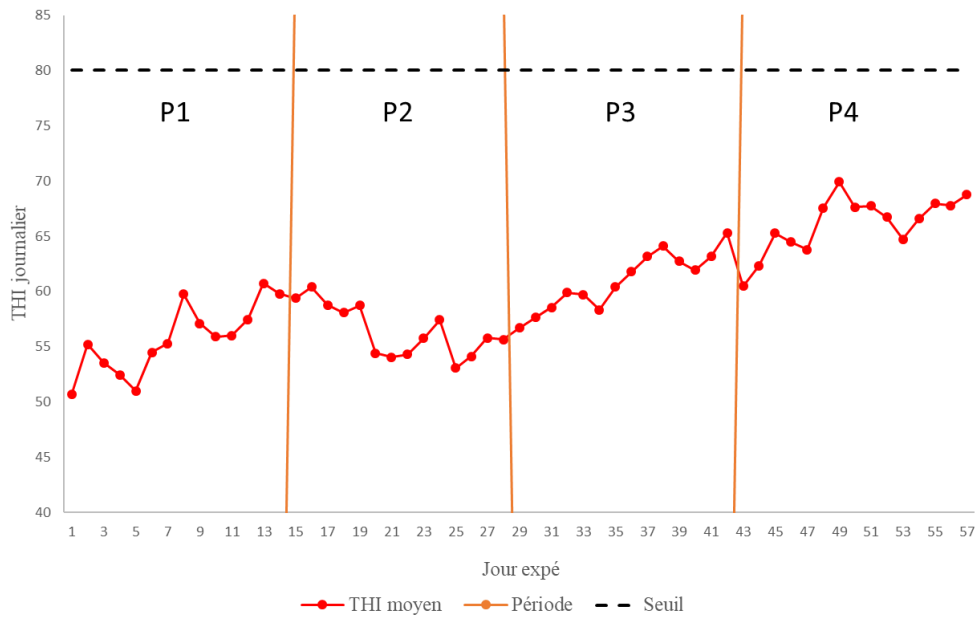
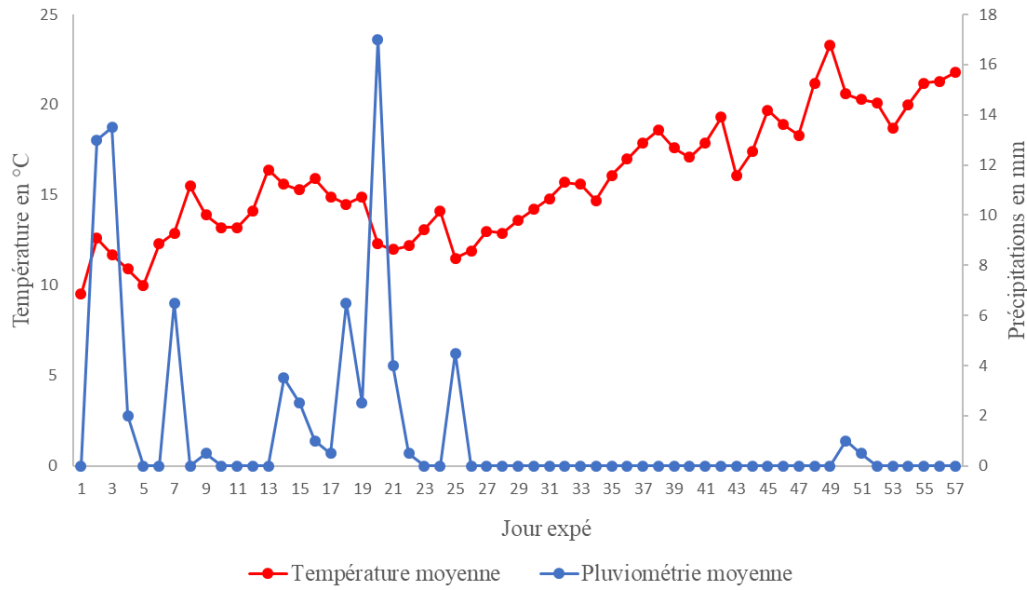


Annexe 4 : Evolution des productions lactières des chèvres lactières 19213 et 21037 au cours des essais



Valeur aberrante (non conservée pour les statistiques) = possible problème de traite

Annexe 5 : Données météorologiques (station météo de la ferme expérimentale) durant les essais et évolution du THI



Le seuil (THI = 80) a été défini par Silanikove et Koluman (2015) comme le THI à partir duquel la production laitière commence à être impactée chez les chèvres laitières.

Annexe 6 : Effets de l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne sur l'ingestion des chèvres laitières en prenant en compte un effet jour hiérarchisé dans la période

Variables	Traitements		ETR	Effet traitement (p<0.05)
	Mauvais foin matin Bon foin soir	Mauvais foin soir Bon foin matin		
Mauvais foin de luzerne offert (kg MS/j)	0.40	0.90	0.041	0.0001
Bon foin de luzerne offert (kg MS/j)	3.01	2.17	0.070	0.0001
Matière sèche totale offerte (kg MS/j)	3.96	3.63	0.077	0.0001
Mauvais foin de luzerne refusé (kg MS/j)	0.09	0.14	0.028	0.0001
Bon foin de luzerne refusé (kg MS/j)	0.35	0.25	0.091	0.0027
Bon foin de luzerne ingéré (kg MS/j)	2.63	1.90	0.077	0.0001
Mauvais foin de luzerne ingéré (kg MS/j)	0.30	0.75	0.046	0.0001
Concentré ingéré (kg MS/j)	0.58	0.58	-	-
Matière sèche totale ingérée (kg/j)	3.49	3.22	0.086	0.0001
Proportion refus mauvais foin de luzerne sur le brut	0.228	0.153	0.0470	0.0002
Proportion refus bon foin de luzerne sur le brut	0.122	0.114	0.0349	0.5056
Proportion mauvais foin de luzerne ingéré sur les 2 fourrages offerts	0.105	0.283	0.0141	0.0001
Proportion bon foin de luzerne ingéré sur les 2 fourrages offerts	0.895	0.717	0.0141	0.0001

Annexe 7 : Effets de l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne sur le comportement alimentaire des chèvres laitière en prenant en compte un effet jour hiérarchisé dans la période

Variables	Traitements		ETR	Effet traitement (p<0.05)
	Mauvais foin matin Bon foin soir	Mauvais foin soir Bon foin matin		
Durée d'accès mauvais foin de luzerne (min/j)	412	870	18.0	0.0002
Durée ingestion mauvais foin de luzerne(min/j)	68	155	8.8	0.0006
Temps passée couché quand mauvais foin dans l'auge (min/j)	279	600	27.1	0.0005
Durée d'accès bon foin de luzerne (min/j)	861	411	11.4	0.0002
Durée ingestion bon foin de luzerne (min/j)	305	240	42.9	0.0678
Temps passée couché quand bon foin dans l'auge (min/j)	431	101	31.2	0.0006
Durée auge vide (min/j)	167	159	17.1	0.5168
Temps passé couché quand auge vide (min/j)	83	67	18.6	0.2305
Durée totale ingestion (min/j)	373	395	48.1	0.5041
Temps total couché (min/j)	794	768	34.3	0.2938

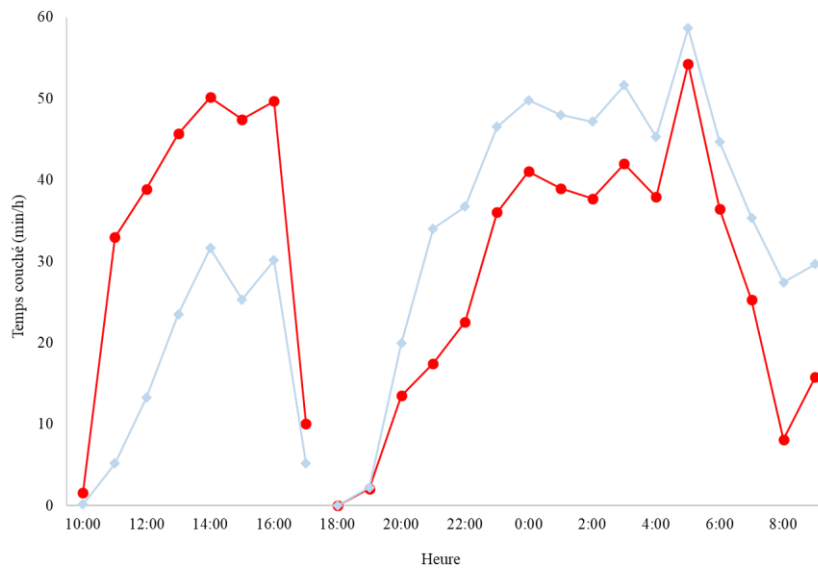
Annexe 8 : Effets de l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées sur l'ingestion des chèvres laitières en prenant en compte un effet jour hiérarchisé dans la période

Variables	Traitements		ETR	Effet traitement (p<0.05)
	Herbe matin Foin G soir	Herbe soir Foin G matin		
Herbe offerte (kg MS/j)	1.79	2.00	0.085	0.0001
Foin de graminées offert (kg MS/j)	0.32	0.21	0.032	0.0001
Matière sèche offerte totale (kg MS/j)	2.69	2.79	0.085	0.0004
Herbe refusée (kg MS/j)	0.28	0.31	0.078	0.3141
Foin de graminées refusé (kg MS/j)	0.07	0.05	0.021	0.0309
Herbe ingérée (kg MS/j)	1.48	1.67	0.101	0.0001
Foin de graminées ingéré (kg MS/j)	0.25	0.15	0.026	0.0001
Concentré ingéré (kg MS/j)	0.58	0.58	-	-
Matière sèche totale ingérée (kg MS/j)	2.31	2.40	0.099	0.0033
Proportion d'herbe ingérée dans les 2 fourrages offerts	0.856	0.914	0.0140	0.0001
Proportion de foin de graminées ingéré dans les 2 fourrages offerts	0.144	0.086	0.0140	0.0001
Proportion de refus herbe	0.134	0.121	0.0283	0.1014
Proportion de refus foin de graminées	0.225	0.291	0.0736	0.0027

Annexe 9 : Effet de l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées sur le comportement alimentaire des chèvres laitière en prenant en compte un effet jour hiérarchisé dans la période

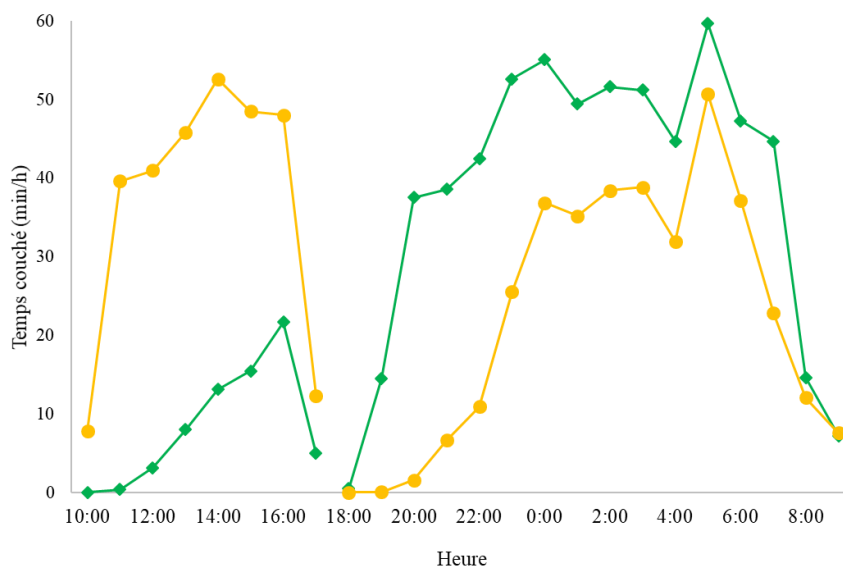
Variable	Traitements		ETR	Effet traitement (p<0,05)
	Herbe matin Foin G soir	Herbe soir Foin G matin		
Durée d'accès foin de graminées (min/j)	863	412	15.8	0.0006
Durée ingestion foin de graminées (min/j)	88	45	3.0	0.0017
Temps passée couché quand foin dans l'auge (min/j)	629	296	24.8	0.0019
Durée d'accès herbe (min/j)	415	872	15.9	0.0006
Durée ingestion herbe (min/j)	310	378	4.4	0.0015
Temps passée couché quand herbe dans l'auge (min/j)	67	369	19.7	0.0015
Durée auge vide (min/j)	162	157	8.8	0.5084
Temps passé couché quand auge vide (min/j)	68	71	13.4	0.7734
Durée totale ingestion (min/j)	398	422	2.5	0.0035
Temps total couché (min/j)	764	736	20.7	0.2001

Annexe 10 : Cinétique journalière du temps passé couché par les chèvres laitières selon l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne



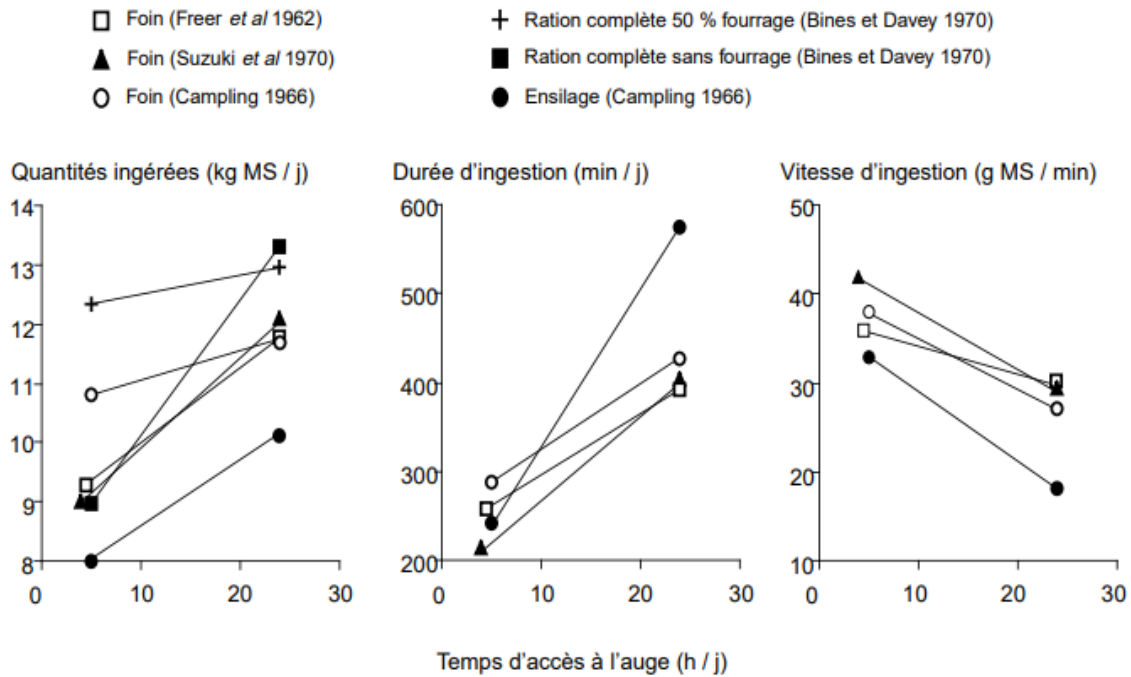
- ◆ BONmatin = Bon foin de luzerne le matin et mauvais foin de luzerne le soir
- BONSoir = Mauvais foin de luzerne le matin et bon foin de luzerne le soir

Annexe 11 : Cinétique journalière du temps passé couché par les chèvres laitières selon l'ordre de distribution de l'herbe et du foin de graminées

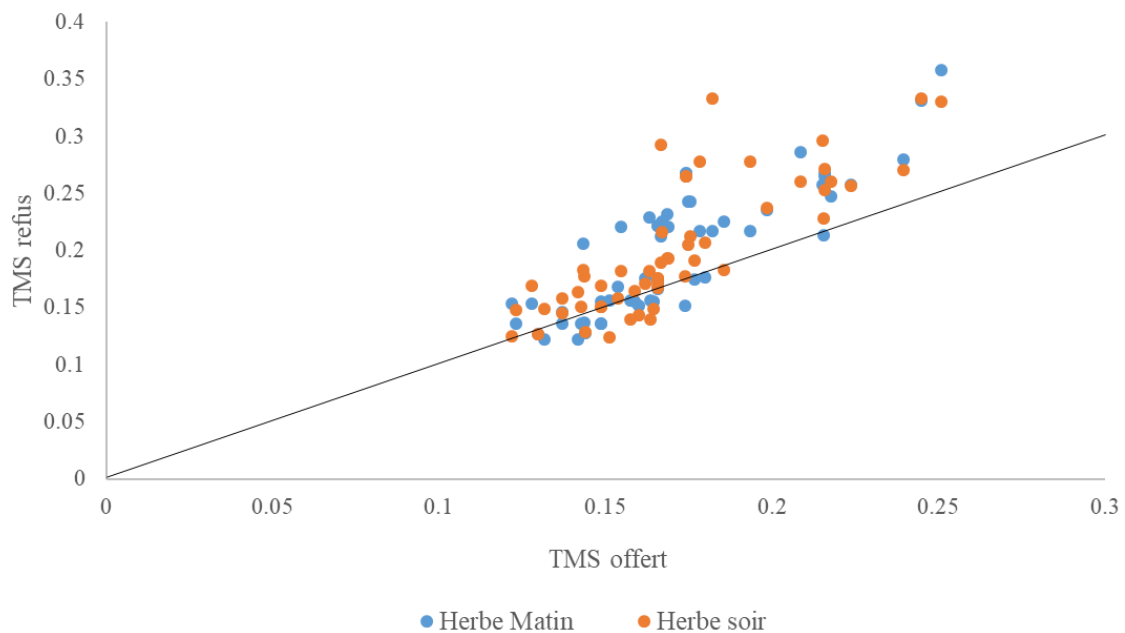


- ◆ HVmatin = Herbe verte le matin et foin de graminées le soir
- HVsoir = Foin de graminées le matin et herbe verte le soir

Annexe 12 : Bilan des essais sur la réduction du temps d'accès à l'auge chez les bovins laitiers (Ingrand, 2000)



Annexe 13 : Evolution de la teneur en MS de l'herbe offerte et refusée



Herbe matin : distribution de l'herbe le matin et Herbe soir : distribution de l'herbe le soir

Annexe 14 : Effet de l'ordre de distribution du bon et du mauvais foin de luzerne sur l'ingestion des chèvres laitières (4 périodes)

Variables	Traitements		ETR	Effet traitement ($p < 0,05$)
	Mauvais foin matin Bon foin soir	Bon foin matin Mauvais foin soir		
Mauvais de luzerne ingéré (kg MB/j)	0.41	0.99	0.129	0.0199
Bon foin de luzerne ingéré (kg MB/j)	2.64	1.88	0.044	0.0012
Mauvais foin de luzerne ingéré (kg MS/j)	0.37	0.90	0.128	0.0237
Bon foin de luzerne ingéré (kg MS/j)	2.40	1.70	0.037	0.0011
Concentré ingéré (kg MS/j)	0.58	0.58	-	-
Matière sèche totale ingérée (kg MS/j)	3.35	3.18	0.156	0.2666
Proportion de mauvais foin ingérée dans les 2 fourrages offerts	0.139	0.351	0.0488	0.0220
Proportion de bon foin ingéré dans les 2 fourrages offerts	0.861	0.649	0.0488	0.0220
Proportion de refus mauvais foin sur le brut	0.194	0.147	0.0402	0.2429
Proportion de refus bon foin sur le brut	0.128	0.131	0.0162	0.7823

Annexe 15 : Comparaison de la teneur en MAT des fourrages offerts et refusés

Fourrage	Teneur MAT offert (g/kg MS)	Teneur MAT refus (g/kg MS)	Delta Offert/refus
Bon foin de luzerne	209	150	59
Mauvais foin de luzerne	175	102	73
Herbe	156	140	16
Foin de graminées	83	68	16